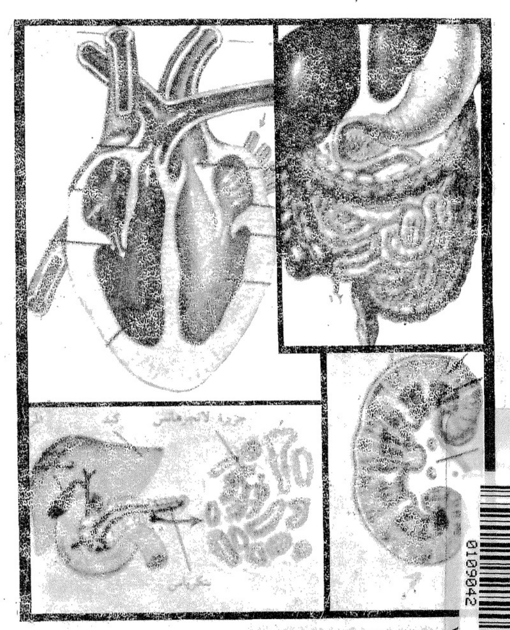
الفسيولوجيا

علم وظائف الأعضاء



دكتور
كمال شرقاوي غزالي

مؤسسة شباب الجامعة
٤٠ ش الدكتور مصطفى مشرفة
ت ٤٨٣٩٤٧٢ - الاسكندرية

الفسيولوجيا

علم وظائف الأعضاء

دكتور
كمال شرقاوى غزالى

١٩٩٥

مؤسسة شباب الجامعة
٤٠ ش الدكتور مصطفى مشرفة
ت: ٤٨٣٩٤٧٢ – الاسكندرية

مقدمة

ظللت فترة طويلة وحتى الآن يشغل ذهنى قضية الثقافة العلمية، بل قل قضية الأمية العلمية. فأعجب لمتخصص يحصل على أعلى الدرجات العلمية فى الفلسفة أو علم النفس أو التاريخ أو النقد الأدبى، ثم لايدرى شيئاً عن أبسط البديهيات العلمية. وكأنها نظرة الند للند حين ينظر أيضا المتخصص فى الكيمياء أو الفيزياء أو النبات أو الحيوان إلى العلوم النظرية الأخرى نظرة عمياء وهو لايدرى شيئاً عن الفلسفة ولا علم النفس ولا التاريخ ولا النقد الأدبى. من هذه الزاوية فكرت فى هذا المؤلف.

ولست بهذا المؤلف أدخل فى إطار الكتاب المقرر فحسب، الذى يكون محدداً محدوداً ضيق الدائرة لجمع من الطلاب يدرسونه لفترة قصيرة من الزمن ثم بعد ذلك يلقونه بعيداً عن اهتماماتهم. لكننى آثرت الخروج عن إطار ماتفرضه ضوابط المقررات الدراسية قاصداً السعى إلى القارئ العام بهذا الجهد العلمى بلغة عربية سهلة الإدراك طيعة المفردات سليمة البيان. وحاولت فيها أن أنفلت من أسر الأكاديمية قصداً للإسهام فى التثقيف العام.

ولقد ضنت المكتبة العربية ـ إلا النذر اليسير ـ بأمثال هذه الكتب التى تقدم المفردات العلمية باللغة العربية. لذا فأنا أقدم مؤلفى هذا ليسد فراغاً مكتبياً منهجياً كمرجع علمى إلى الدراسين فى الجامعات وإلى الراغبين فى المعرفة العلمية.

أما بالنسبة للمحتوى العلمى للكتاب فقد اجتهدت وجاهدت فى أن أبرز فلسفة هذا العلم ـ التى طالما غابت عن الكثيرين ـ ألا وهى الوصول بالكائن الحى إلى الاستقرار الذاتى Homeostasis الذى يقصد به هدف الآليات الحيوية فى الجسم للمحافظة على محيط داخلى ثابت، أو بمعنى آخر فهو

الذى يقصد به غاية التعاون الكامل لجميع الأعضاء الحيوية للجسم كأجهزة الهضم والتنفس والدوران والاخراج وغيرها. وبسبب عدم قدرة الخلايا على حماية أنفسها من أية تغيرات مؤذية فى المحيط الداخلى لذا فمن الضرورى بقاء التكوين الكيميائى والفيزيائى للسائل النسيجى ثابتاً تقريباً بقدر المستطاع. لكن ثمة عاملان يحاولان إفساد هذا الثبات وهما : التغيرات الخارجية المحيطة بالخلايا مثل التغير فى درجة الحرارة، والتغيرات الداخلية كتلك التى تنجم عن أنشطة الجسم المختلفة فى تراكيز الأكسجين والغذاء ونواتج الفضلات وأيونات الهيدروجين والهيدروكسيد ودرجة الحرارة والضغط الأسموزى والمحتوى الغروى. ولما كانت هذه المكونات تتغير باستمرار فإن ثبات الوسط الداخلى هو توازن ديناميكى يتباين فقط ضمن حدود ضيقة منسجماً مع بقاء ووظيفة الخلايا. من هنا وصفت المحافظة على ثبات الوسط الداخلى بالاستقرار الذاتى. ومن ثم جاء هذا المؤلف. وقد اعتنيت بأن يقدم رؤية متكاملة عن فسيولوجية الجسم، خاصة فى الكائن الحى البشرى باعتباره قطب اهتمام الجميع خاصة غير المتخصصين منهم. فتسلسلت الموضوعات التى تعتبر مظاهراً للحياة، وقد سبقتها إشارة إلى الخلية ومكوناتها ووظائفها ودورها فى نقل المواد المختلفة باعتبارها الوحدة الأساسية فى تركيب ووظيفة الجسم، وكذلك الإنزيمات؛ العوامل المساعدة التى تسهل عمل كل آليات الجسم وأنشطته. وجاء الفصل الأخير جامعاً لكثير من التجارب العملية الفسيولوجية.

وبعد، فإنى أرفع اكبارى وتقديرى لكل أساتذتى الذين فتحوا لى الطريق للنهل من زاد المعرفة والعلم. وأخيراً فإنى أتمنى من الله عز وجل أن يكون قد وفقنى فيما قصدت. أما إذا لم أوفق فعذرى أن الكمال لله وحده.

دكتور / كمال شرقاوى غزالى

الفصل الأول

الخليـــــــــة

The Cell

الفصـــل الأول

الخلـــــية

مفهوم الخلية

الخلية هي الوحدة الأولية والتركيبية في بنيان الجسم. ويمكن تعريفها على أنها كتلة صغيرة من المادة الحية (البروتوبلازم) يحيط بها غشاء خلوى وفي وسطها نواة.

ويرجع الفضل في اكتشاف الخلية إلى العالم البريطاني روبرت هوك Robert Hooke عام ١٦٦٥ حيث كان أول من صمم ميكروسكوباً فحص به قطاعات من الفلين. فشاهد من خلاله ثقوباً أو فراغات صغيرة تشبه تلك التي في أقراص عسل النحل، وقد أطلق عليها اسم خلايا. وفي عام ١٨٣٨ استنتج عالم النبات الألماني شلايدن Schleiden أن الأنسجة النباتية تتركب من وحدات صغيرة هي الخلايا. وفي السنة التالية أكد عالم الحيوان شيفان Schwann أن الأنسجة الحيوانية تتألف أيضا من وحدات تركيبية هي الخلايا. وبعد ذلك اتسع مفهوم الخلية، فأوضح عالم الأمراض الألماني فيرشو Virchow أن الخلايا تنتج من خلايا سابقة لها. لهذا فقد وضعت النظرية الخلوية Cell Theory بفضل هؤلاء العلماء الثلاثة. ثم غير مسماها فيما بعد إلى نظرية الكائن الحى Organismal Theory لأن التركيز يجب أن يكون على الكائن

الحى ككل، وليس على الخلية. وتتلخص فروض هذه النظرية فى أن الخلية هى وحدة التركيب والوظيفة والإنقسام والوراثة فى الكائن الحى.

وتختلف الخلايا فى الشكل والحجم والوظيفة. فمن حيث الشكل تتخذ الخلايا أشكالاً هندسية مختلفة، منها مايكون كروياً أو مستطيلاً أو مكعباً أو خيطياً أو أسطوانياً أو شجرياً متفرعاً. ومنها ما يتغير شكله حسب حاجة الحيوان كخلايا الدم البيضاء. أما حجم الخلايا فيتراوح بين ١٠و ١٠٠ ميكرون (الميكرون = $\frac{١}{١٠٠٠}$ ملليمتر)، إلا أن الخلايا العصبية قد يصل طول بعضها إلى سبعة أقدام كما فى الزرافة. أما بالنسبة للوظيفة فتختلف الخلايا أيضا حسب وظيفتها إلى حسية وحركية وجنسية وغيرها.

البروتوبلازم

البروتوبلازم Protoplasm هو نظام معقد من مواد كيميائية وتراكيب متعضية ذات قوام هلامى بسيط يوصف بأنه مستحلب غروى، نصف صلب أو نصف سائل يمكنه التحول السريع من حالة السيولة Sol إلى حالة الصلابة Gel أو العكس. وقوامه حبيبى. وتتركب المادة المنتشرة فيه من تجمعات من الجزيئات معلقة فى الوسط الإنتشارى. وهى فى حركة دائمة يشار إليها بالحركة البراونية.

ومن حيث التركيب الكيميائى فإن أكثر العناصر الكيميائية وفرة فى البروتوبلازم هو الأكسجين (٦٢ ٪). أما العناصر الأخرى فى البروتوبلازم فهى الكربون (٢٠ ٪) والهيدروجين (١٠ ٪) والنيتروجين (٥ر٢ ٪). أما الباقى (٤ـ٥ ٪) فيدخل فى تكوينه بنسب مختلفة عناصر مثل الفوسفور والبوتاسيوم والكبريت والكلور والصوديوم والكالسيوم والماغنسيوم والنحاس والحديد والزنك والكوبلت والمنجنيز. ويشير التحليل الكيميائى لخلية حيوانية نموذجية فى

الحيوانات الراقية التامة النمو إلى أنها تتكون من ٧٠٪ ماء و ١٥٪ بروتين و١٠٪ دهون و١٪ كربوهيدرات و ٤٪ مواد غير عضوية. ومع ذلك فلايجب اعتبار البروتوبلازم خليطاً من المكونات المذكورة، لأنه من الممكن تفتيت الخلية وعزل الأجزاء المكونة لها، إلا أن هذه المكونات تقوم لوقت قليل ببعض التفاعلات الكيميائية الاعتيادية لكنها لاتشكل حياة. إذن البروتوبلازم هو توليفة من مواد كيميائية تظهر خواص وأنشطة الحياة، لذا يطلق عليه المادة الحية.

وللبروتوبلازم خواص فسيولوجية هامة كالنقل النشط Active Transport وقابلية الانقباض Contractility والإثارة Irritability و التوصيل Conductivity والأيض Metabolism والنمو Growth والتكاثر Reproduction والاخراج Excretion. وكل هذه الخواص الفسيولوجية يعبر عنها بالحياة.

تركيب الخلية

تتركب الخلية الحيوانية (شكل ١) من ثلاثة تراكيب رئيسية هى الغشاء الخلوى Cell Membrane (الغشاء البلازمى Plasma Membrane) والنواة Nucleus والسيتوبلازم Cytoplasm. وهى تختلف فى تركيبها عن الخلية النباتية (شكل ٢) فى عدة اعتبارات أهمها أن الخلية الحيوانية يحيط بها غشاء خلوى Cell Membrane بينما يحيط بالخلية النباتية جدار خلوى Cell Wall. ويختلف الغشاء الخلوى للخلية الحيوانية عن الجدار الخلوى المغلف للخلية النباتية فى أن الأخير غلاف قوى صلب ميت يتركب أساساً من مادة كربوهيدراتية معقدة هى السليلوز. كما أن الخلية النباتية تحتوى على فجوات عصارية وبلاستيدات خضراء، أما الخلية الحيوانية فلا.

الشبكة الأندوبلازمية الخشنة

ريبوسومات

الشبكة الأندوبلازمية الملساء

ليسوسوم

فجوة

جهاز جولجي

سنترومير

الغشاء الخلوي
(غشاء البلازما)

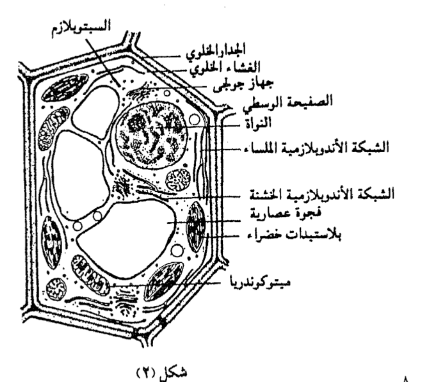
النواة

السيتوبلاز

نوية

شكل (١)

الخلية الحيوانية



شكل (٢)

الخلية النباتية

أولا ـ الغشاء الخلوى *Cell Membrane*

هو عبارة عن غشاء رقيق نصف نفاذ يحيط بعضيات الخلية الداخلية ويحفظها. ويبلغ سمكه حوالى ١٠٠ أنجستروم (الأنجستروم = $\frac{١}{١٠٠٠}$ من الميكرون، والميكرون = $\frac{١}{١٠٠٠}$ من الملليمتر). وهو يحدد ما يجب أن يدخل أو يخرج من وإلى الخلية. ويتركب من طبقة بروتين مندسة بين طبقتين من الدهون. ولعل هذا التركيب له علاقة بدخول بعض المواد إلى الخلية وامتناع غيرها. فقد اتضح أن الغشاء الخلوى يتصف بظاهرة النفاذية الاختيارية Selective Permeability فيسمح لبعض المواد الذائبة بالنفاذ إلى داخل الخلية بينما يمنع دخول مواد أخرى. لذا يوصف بأن له القدرة على اختيار مايلزمه من عناصر غذائية.

وللغشاء الخلوى عدة وظائف هامة، تتلخص فى أنه :

١ـ يحدد شكل الخلية، وكذلك الفراغات داخلها وخارجها.

٢ـ يشكل معبراً للمواد اللازمة للخلية والفضلات الناتجة عن الأيض.

٣ـ يشكل موقعاً لنقل المعلومات بتأثير الهرمونات والسيالات العصبية.

٤ـ يوجد عليه مستقبلات Receptors تعمل على استجابة الخلية الفسيولوجية أو الكيميائية بسبب نقلها للإحساس.

٥ـ تقع عليه أيونات الكالسيوم التى تلعب دوراً أساسياً فى عملية الاتصال العصبى.

٦ـ يحمل عدة إنزيمات هامة تشترك فى كثير من التفاعلات مثل إنزيم أدينوسين ثلاثى الفوسفاتيز ATP ase المنشط للصوديوم والبوتاسيوم والمرتبط بما يعرف بمضخة الصوديوم وكذلك إنزيم أحادى أمين أكسيديز Mono-Amin-Oxidase المنشط للكاتيكول أمين وكذلك إنزيم أدينيل سيكليز Adenyl Cyclase الذى يعمل تنشيطه على تحول أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP إلى أدينوسين أحادى الفوسفات الحلقى Cyclic AMP .

ثانياً ـ النواة *Nucleus*

هى أكبر أجزاء الخلية وأكثرها وضوحاً. ولشكلها علاقة بشكل الخلية فهى كروية بالخلايا المستديرة ومستطيلة بالخلايا المستطيلة أو غير منتظمة كما فى خلايا الدم البيضاء. ويختلف عدد الأنوية فى الخلية، فهى فى ألياف العضلات الهيكلية أكثر من واحدة، لكنها واحدة فقط فى الأحوال العادية. وتتركب النواة من أربعة أجزاء هى :

١ـ الغلاف النووى *Nuclear Membrane*

وهو يحيط بالنواة ويحفظ مكوناتها. ويتخلله ثقوب صغيرة جداً تسمح باتصال مباشر بين محتويات النواة وسيتوبلازم الخلية. وبالتالى تنظم تبادل مرور المواد بين النواة والسيتوبلازم. ويتركب الغلاف النووى من غشائين: داخلى وخارجى. ويتصل الغشاء الخارجى بالغشاء الخلوى عن طريق قنوات الشبكة الإندوبلازمية.

٢ـ العصير النووى *Nuclear Sap*

وهو يملأ النواة، حيث تسبح جميع مكوناتها فيه. ويتألف من بروتينات وكربوهيدرات وأحماض أمينية وإنزيمات تصل كلها إلى السيتوبلازم عن طريق الثقوب الموجودة بالغلاف النووى.

٣ـ النوية *Nucleolus*

وهى عبارة عن جسيم كروى صغير بلا غشاء وغنية بالحامض النووى RNA . لذلك تلعب دوراً هاماً فى انتاج الريبوسومات (rRNA) الضرورية لتكوين البروتينات فى الخلية.

٤ـ الشبكة الكروماتينية *Chromatin Net*

وهى عبارة عن خيوط رفيعة متشابكة مع بعضها تدعى بالكروموسومات Chromosomes وتحمل المادة الوراثيـة DNA . وعدد الكروموسومات ثابت للنوع الواحد، فهى فى الكلب ٥٢ وفى الانسان ٤٦ وفى الفأر ٤٠ وفى القط ٣٨ وفى ذبابة الفاكهة ٨ وفى الاسكارس ٢ فقط.

ثالثا ـ السيتوبلازم *Cytoplasm*

هو المادة البروتوبلازمية التى تنغمس فيها النواة وعضيات خلوية هى الشبكة الإندوبلازمية والميتوكوندريا وجهاز جولجى والجسيمات المحللة (الليسوسومات) والريبوسومات والسنتريولات. وهو مركز تحلل الجلوكوز Glycolysis وتصنيع الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية Gluconeogensis ومسار البنتوز فوسفات Pentose phosphate Pathway.

١ـ الشبكة الإندوبلازمية *Endoplasmic Reticulum*

هى عبارة عن انبعاجات داخل السيتوبلازم على شكل أنابيب وحويصلات تصل ما بين الغلاف النووى وسطح الخلية. فتعمل على توصيل المواد مابين الأجزاء الخلوية فى السيتوبلازم من جهة، ومن النواة إلى خارج الخلية أو العكس من جهة أخرى. وهى أيضا تزيد من مساحة السطح المعرض للخلية مما يزيد من فعالية أنشطتها الحيوية. والشبكة الإندوبلازمية نوعان :

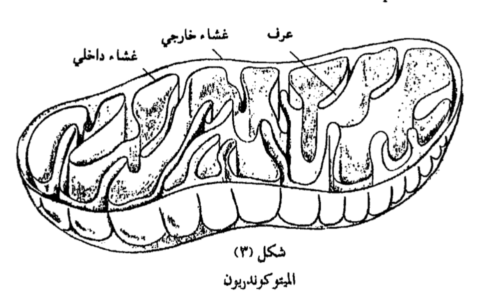
أ ـ الشبكة الإندوبلازمية الخشنة *Rough Endoplasmic Reticulum* : وتنتشر عليها حبيبات الريبوسومات الغنية بحامض الريبونيوكليك RNA، التى يتم صنعها فى النواة. لذا فهى تعمل كمركز للريبوسومات التى تقوم بتصنيع البروتين.

ب ـ الشبكة الإندوبلازمية الملساء *Smooth Endoplasmic Reticulum*: ولايوجد عليها أى من حبيبات الريبوسومات. وهى تعمل على صنع الدهون والهرمونات الستيرويدية وبعض مكونات الخلية الأخرى كأجسام جولجى. كما تقوم بنقل المواد المصنوعة داخل الخلية نفسها.

٢ـ الميتوكوندريا *Mitochondria*

تختلف الميتوكوندريا فى الشكل الخارجى مابين عضية أسطوانية أو كروية أو خيطية، مما يؤكد أنها تغير شكلها حسب الحالة الفسيولوجية للخلية. وهى

تنتشر فى جميع الخلايا ماعدا خلايا الدم الحمراء فى الثدييات. وتتراوح أحجامها من ٠,٢ إلى ٥ ميكرونات. وتتركب الميتوكوندريا من غشاء مزدوج الجدار من البروتين والدهون (شكل ٣). ويتحكم الغشاء الخارجى منه فى مرور جزيئات المواد الكيميائية من وإلى داخل الميتوكوندريا. أما الغشاء الداخلى فهو كثير التعرج ويشكل نتوءات وبروزات عديدة إصبعية الشكل متجهة إلى الداخل تسمى الأعراف Cristae. فتزيد بذلك مساحة سطحها. ويقع بين هذه الأعراف المادة الخلالية. وإنزيمات السيتوكروم Cytochrome التى تشترك فى السلسلة التنفسية هى جميعاً جزء من الغشاء الداخلى للميتوكوندريا. وقد بين المجهر الإلكترونى أن الميتوكوندريا تتكون كيميائيا من حامض دى أكسى ريبونيوكليك DNA على شكل خيط دائرى، وتحتوى على ريبوسومات أيضا. ووظيفة الميتوكوندريا تكمن فى أنها تعتبر مراكز إنزيمات التنفس اللازمة لتوليد الطاقة ATP. لذلك يطلق عليها بيت الطاقة Power House للخلية. وبناءاً على ذلك فالميتوكوندريا تعتبر مركزاً لدورة كريبس، حيث تتم أكسدة حامض البيروفيك والأحماض الأمينية والأحماض الدهنية بداخلها حيث توجد إنزيمات التنفس الخاصة بذلك. ويقوم الغشاء الداخلى عندئذ باتمام انتاج الطاقة فى مرور الالكترونات فى النظام المعروف باسم سلسلة نقل الالكترونات Electron Transport Chain ETC.



شكل (٣)

الميتوكوندريون

٣ـ جهاز جولجى *Golgi Apparatus*

سُمى جهاز جولجى الذى ربما تكون نشأته من الشبكة الإندوبلازمية نسبة إلى مكتشفه العالم الإيطالى Camillo Golgi عام ١٨٩٨ . ويتركب جهاز جولجى من قسمين : أكياس متطاولة، رقيقة الجدران منتفخة عند أحد أطرافها وموازية لبعضها البعض، وحويصلات مستديرة تحدها أغشية رقيقة موجودة بالقرب من حافة الأكياس. ويكثر وجود جهاز جولجى فى الخلايا ذات الوظائف الافرازية كالخلايا الكأسية والخلايا الجيبية Acinar Cells للبنكرياس. أما أهمية جهاز جولجى فترجع إلى كونه مركزاً لافراز البروتينات والإنزيمات. كما يعمل على تجميع المواد المصنوعة بواسطة الريبوسومات فى قنوات الشبكة الإندوبلازمية. ومن هناك تذهب إلى جهاز جولجى حيث تخزن فى حويصلاته بحيث يمكن أن تتحرك بعد ذلك إلى أماكن أخرى سواءً داخل الخلية أو إلى سطح الغشاء الخلوى إلى خارج الخلية.

٤ـ الجسيمات المحللة أو الليسوسومات *Lysosomes*

هى عضيات بيضاوية أو كروية أو غير منتظمة وذات غشاء مفرد رقيق وتحوى كمية كبيرة من إنزيمات التحليل المائى الحامضية القوية التى تستطيع تحليل البروتينات والأحماض النووية RNA و DNA وبعض الكربوهيدرات. لذا فإن وظيفتها هضمية ومحللة. إذ تطلق محتوياتها لتهضم مايصل إلى الخلية من مواد غريبة. وهى لذلك موجودة بأعداد كبيرة فى خلايا الدم البيضاء. كما تستطيع أن تحلل الميتوكوندريا والشبكة الإندوبلازمية. كذلك عندما تهرم أو تتلف الخلية فإنها تطلق محتوياتها الإنزيمية لتحطيم الخلية. كما أنها تحطم الخلايا التى انتهت وظيفتها مثلما فى حالة تحول أبى ذنيبة إلى ضفدع بالغ عديم الذيل. إذ تطلق الليسوسومات إنزيماتها وتحطم خلايا الذيل الذى لم يعد له فائدة. وعند الجوع تمكن الليسوسومات الخلية من استعمال جزء من

مادتها للوقود بدون أن تسبب لنفسها ضرراً. ومن المثير جداً أن الإنزيمات المحللة الموجودة فى الليسوسومات بداخل الخلية لاتهضم محتويات الخلية نفسها كما قد يتوقع لأن هذه الإنزيمات مغلفة بأغشية كفؤة تفصلها عن باقى محتويات الخلية. ومايدخل الخلية من دقائق ضخمة تتحد فى فجوات داخل الخلية لتندمج بعدئذٍ مع الليسوسومات وتكون فجوات غذائية. ثم تنتشر النواتج النهائية لهذا الهضم الخلوى إلى السيتوبلازم. ومن هنا يقترح أن الليسوسومات هى المسؤولة عن هضم الغذاء فى خلايا الأوليات التى تحتوى على فجوات غذائية. وعند موت الخلية أو موت الكائن الحى ينعدم وصول الأكسجين إلى الخلية Anoxia فتتمزق الأغشية الليسوسومية وتتحرر الإنزيمات التى بها فتفنى الخلية.

٥ـ الريبوسومات *Ribosomes*

هى عبارة عن حبيبات كروية ذات ملمس خشن تتكون بصورة مستمرة فى النوية. وتوجد إما على السطح الداخلى للشبكة الإندوبلازمية الخشنة أو حرة فى السيتوبلازم أو مستقرة فى الميتوكوندريا. ووظيفتها تكوين البروتين فى الخلية. وسميت الريبوسومات بهذا الاسم لأنها تتكون من اتحاد حامض الريبونيوكليكRNA مع البروتين.

٦ـ الجسم المركزى *Centrosome*

وهو يقع قرب مركز الخلية، ويتألف من جسمين أسطوانيين أو عصويين ـ أو أكثر ـ يسمى كل منهما بالسنتريول Centriole. ويقع السنتريولان بالقرب من النواة فى أغلب الخلايا الحيوانية، لكنهما مفقودان فى الخلايا العصبية وخلايا الدم الحمراء. ولهما علاقة مباشرة بانقسام الخلية. إذ يبتعدان إلى قطبى الخلية المتقابلين أثناء انقسامها. ويرتبطان ببعضهما بالخيوط المغزلية التى تصطف عليها الكروموسومات.

وظائف الخلية

تتعدد وظائف الخلية ومهام تراكيبها المختلفة. لكن يمكن ايجاز أهمها فى النقاط التالية :

١ـ الامتصاص، وهو قدرة الخلايا على إدخال العناصر الغذائية والنافعة إلى داخلها.

٢ـ الأيض، بغرض البناء والحصول على الطاقة. ويقصد بالأيض العمليات الكيميائية التى تجرى للمواد الغذائية بعد امتصاصها والتى فى النهاية تتحول إلى عناصر مماثلة لتركيب البروتوبلازم أو تتكسر للحصول على الطاقة. وكل تلك العمليات تجرى داخل الخلية.

٣ـ التنفس، ويعنى أكسدة المواد الغذائية داخل الخلية فى وجود الهواء أو عدم وجوده للحصول على الطاقة.

٤ـ الاخراج للفضلات كالبول والعرق خارج الجسم عن طريق قنوات خاصة بها.

٥ـ التكاثر، وهو قدرة الخلايا على مضاعفة أعدادها. ومن خلال التكاثر ينمو الكائن الحى ويحافظ على نوعه.

٦ـ الافراز لبعض المواد العضوية كالهرمونات والإنزيمات.

٧ـ قابلية الإثارة، وهى قدرة الخلايا على الإستجابة عند تنبهها بمنبه كيميائى أو فيزيائى.

٨ـ قابلية النقل، وهى قدرة الخلايا على نقل التنبيه الحادث من موقع حدوثه إلى موقع آخر.

انتقال المواد عبر الخلية

توجد الخلية فى وسط مائى يحوى أملاحًا مختلفة، لكن مكونات البروتوبلازم لاتمر إلى خارج الخلية و أيضا ماء الوسط المحيط لايمر إلى داخل

الخلية، بينما نجد أن المواد الغذائية تمر من الوسط المحيط إلى البروتوبلازم كما أن المواد الاخراجية تمر من الخلية إلى الخارج. ويرجع هذا الاختلاف إلى الظواهر والخواص التالية :

أولاً ـ الانتشار *Diffusion*

يقصد بالانتشار إعادة توزيع المادة من خلال حركة عشوائية. وبمعنى آخر فإن الانتشار هو انتقال بعض المواد من الوسط ذى التركيز الأعلى إلى الوسط ذى التركيز الأقل.

١ـ انتشار الغازات

أهم مثل على ذلك هو مايحدث فى التنفس حيث يعتمد تبادل الغازات بين الكائن الحى والوسط المحيط على انتشار الغازات. ومن المعروف أن الغازات تنتشر من منطقة الضغط العالى إلى منطقة الضغط المنخفض. وطبقا للنظرية الحركية للغازات تكون جزيئات الغازات فى حركة عشوائية ثابتة. ونتيجة لذلك تنتشر بعيداً بقدر ما تسمح به حدود الوعاء. ويحدث قصف جدران الوعاء بواسطة جزيئات الغاز المحصور وضغط هذا الغاز.

٢ـ انتشار السوائل

جزيئات السائل والمادة الذائبة فيه فى حركة ثابتة. لكنها تختلف عما فى حالة الغاز فى أن حركاتها مقيدة بصورة كبيرة نتيجة للتجاذب الذى تظهره الجزيئات لبعضها البعض. وتسمى المادة فى المحلول بالمذاب ويسمى الوسط الذى تذوب فيه بالمذيب. وتتناسب سرعة الجزيئات فى المحلول تناسباً عكسياً مع وزنها الجزيئى وطرديا مع حرارة المحلول. ويلعب الانتشار دوراً هاماً فى مرور المواد من الدم إلى الخلايا ومرور النواتج الخلوية فى الاتجاه العكسى.

ثانيا ـ تشتت المواد فى الماء *Dispersion of Materials in Water*

١ـ **المحلول الجزيئى** *Molecular Solution* : الدقائق المشتتة فى هذا المحلول هى جزيئات أو أيونات أو بللورات ذات قطر أقل من ٠٫٠٠٠٠٠١ من المليمتر. ويسمى هذا المحلول أحيانًا بالمحلول الحقيقى. وهو ثابت لأنه لايوجد استقرار للدقائق فى الوسط الذى توجد فيه، أى أن دقائق المادة المذابة موزعة بالتساوى فى جزيئات السائل المذيب. لذا فهو متجانس، كالسكر فى الماء والكحول فى الماء والأكسجين فى الماء. ومن أمثلة هذه المحاليل : محاليل الأملاح والأحماض والقواعد والسكريات.

٢ـ **المعلق** *Suspension* : هو الذى يزيد قطر جزيئاته عن ٠٫٠٠٠١ ملليمتر. ونظراً لأن هذه الجزيئات كبيرة الحجم فهى لاتذوب. وهى أيضا لاتنتشر. ويمكن أن تفصل من السائل بواسطة الجاذبية أى بالترسيب أو بواسطة الترشيح. ومن أمثلة ذلك خلايا الدم التى تكون معلقة فى الجزء السائل منه (البلازما) وكذلك الدقيق فى الماء والطمى فى الماء.

٣ـ **المحلول الغروى** *Colloidal Solution* : هو الذى تتراوح أقطار جزيئاته بين أقطار جزيئات المعلق وأقطار جزيئات المحلول الجزيئى أى من ٠٫٠٠٠١ إلى ٠٫٠٠٠٠٠١ ملليمتر. وهذا المحلول غير متجانس، وهو ثابت تماماً لأنه لايستقر بواسطة الجاذبية. لكن بالطرد المركزى يمكن ترسيب كثير من الغرويات من محاليلها (مثلما يحدث فى حالة البروتينات). وكلما كانت الجزيئات أصغر كلما كان ثبات المحلول أكبر. ومن أمثلة المحاليل الغروية النشا والبروتين. وعندما يرج جيلاتين صلب (بروتين) فى ماء ساخن يتكون محلول غروى يعرف بالمحلول الغروى المائى Hydrosol حيث تترابط الدقائق الغروية مع بعضها بضعف. وعند التبريد يستقر المحلول الغروى إلى كتلة قوية تسمى بالمحلول الجيلاتينى المائى Hydrogel

حيث تترابط الدقائق الغروية بقوة. وبالمثل فإن بروتوبلازم الخلية يحتوى على بروتينات فى كلتا الحالتين.

ويتم فصل مواد المحلول الغروى أو المعلق عن تلك التى فى المحلول الجزيئى بإحدى الطريقتين الآتيتين :

أ ـ الترشيح *Filteration* : وهو يعنى مرور المادة فى المحلول خلال غشاء كنتيجة لقوة ميكانيكية كالجاذبية أو ضغط الدم. وبواسطة الترشيح يمكن أن تفصل مواد كخلايا الدم من السائل المعلقة فيه.

ب ـ الفصل الغشائى *Dialysis* : وهو يعنى فصل مادة أكثر انتشارية (كالبللورات مثل السكر) من مادة أقل انتشارية (كالغرويات مثل البيومين البيض) خلال غشاء ذى طبيعة شبه نفاذة Semipermeable Membrane . ويعرف الغشاء شبه النفاذ بأنه منفذ للمذيب وليس للمادة المذابة فى المحلول. ومن أمثلة هذه الأغشيــة الكولوديون Collodion والبرشمان Parchment والسيلوفان Celophane . وتعتمد النفاذية على عاملين : طبيعة المادة (أى حجم الجزئ) وطبيعة الغشاء. ولأى مادة يمكن أن يوجد غشاء غير منفذ وأغشية أخرى منفذة. لذلك توصف هذه الظاهرة بالنفاذية الاختيارية Selective Permeability . ولتوضيح طريقة الفصل الغشائى يوضع محلول سكر (محلول جزيئى أو حقيقى) ومحلول الألبيومين (محلول غروى)، كل فى وعاء ذى قاع من جيلاتين غير راجع كالكولوديون أو البرشمان أو السيلوفان. ويعلق كل من الوعائين فى وعاء كبير من الماء. بعد فترة نلاحظ أن السكر والماء قد اختفيا بينما تبقى الألبيومين.

ثالثا : الأسموزية *Osmosis*

يعبر عن الأسموزية بأنها انتقال الماء أو أى مذيب عبر الأغشية شبه النفاذة

Semipermeable Membrane من محلول مخفف إلى محلول مركز، أى من الجانب ذى التركيز الأقل إلى الجانب ذى التركيز الأعلى. ويرتبط الماء بالذات بهذه الخاصية أكثر من غيره. وهذه الخاصية هامة جداً فى الحياة لأن أغشية جميع الخلايا الحية هى شبه نفاذة. فمع استمرار تدفق المواد من الجانب ذى التركيز المنخفض إلى الجانب ذى التركيز العالى فإن حجم المحلول فى الجانب ذى التركيز العالى يزداد ويزداد ضغطه تبعاً لازدياد عمود السائل (الضغط الهيدروستاتيكى). ويسمى الضغط الناتج بالضغط الأسموزى Osmotic Pressure. ويبقى الفعل الأسموزى مستمراً حتى يتساوى الضغط الهيدروستاتيكى بالضغط الأسموزى ويصل النظام إلى حالة من الاتزان. ويعرف الضغط الأسموزى بأنه القوة التى يتحرك بها المذيب من محلول ذى تركيز منخفض للمذاب إلى محلول ذى تركيز أعلى منه عندما تفصل هذه المحاليل بغشاء شبه نفاذ.

وعندما يفصل محلولان سكريان يمتلكان نفس التركيز للمذاب بغشاء شبه نفاذ لايظهر تغير فى الحجم والضغط فى أى منهما، لذا يطلق عليهما متساويا الأسموزية Isosmotic Solutions. وعندما يفصل محلولان لهما تركيزان مختلفان بغشاء شبه نفاذ فإن الماء يمر من المحلول ذى التركيز العالى من الماء إلى المحلول ذى التركيز المنخفض. ويطلق على المحلول ذى التركيز العالى (أى التركيز الأقل من المذاب) المحلول منخفض الأسموزية Hyposmotic Solution مقارنة مع المحلول الثانى ويكون ضغطه الأسموزى أقل، بينما يطلق على المحلول الثانى المحلول عالى الأسموزية Hyperosmotic Solution مقارنة مع المحلول الأول. وأكبر الأمثلة على ذلك أن الغشاء الخلوى لخلية الدم الحمراء للانسان منفذ للماء وغير منفذ لكلوريد الصوديوم. ويزداد حجم هذه الخلية بالأسموزية فى محلول كلوريد الصوديوم المخفف جداً. وقد يتمدد الغشاء حتى تخرج محتويات الخلية وتتحلل Hemolysis. وفى محلول كلوريد

الصوديوم القوى نسبياً يسحب الضغط الأسموزى الأكبر للمحلول الماء إلى خارج الخلية فينكمش حجمها. وتحتفظ خلايا الدم الحمراء للانسان بأحجامها ثابتة فى ٩ر٠ ٪ (١٥٥ر٠ مولار) من محلول كلوريد الصوديوم. ولهذا التركيز من محلول كلوريد الصوديوم نفس الضغط الأسموزى كما فى محتويات الخلية. وهما لذلك متساويا الأسموزية.

وبالنسبة لعدم أسموزية غشاء خلية الحيوان ذى الدم الحار يسمى محلول ٩ر٠ ٪ من كلوريد الصوديوم بأنه محلول متساوى التوتر Isotonic Solution مع محتويات الخلية. ويكون محلول ٩ر٠ ٪ أو ١٥٥ر٠ مولار من كلوريد الصوديوم متساوى الأسموزية مع محلول ٣٢ر٠ مولار من اليوريا التى تكون غير متساوية التوتر مع محتويات الخلية. ولأن غشاء خلية الدم الحمراء منفذ لليوريا فى المحلول فإن اليوريا تدخل إلى الخلية بطريقة مشابهة للماء المقطر. ونتيجة لذلك فإن محلول اليوريا غير قادر على أن يسبب أى ضغط أسموزى على الخلية. وعند عدم وجود تركيز عالى أو منخفض لليوريا فإن الخلية تحافظ على حجمها الأصلى. لذلك فإن محلول اليوريا يكون متساوى الأسموزية مع محلول كلوريد الصوديوم وليس متساوى التوتر. ويطلق على محلول كلوريد الصوديوم الذى يزيد تركيزه عن ٩ر٠ ٪ عالى التوتر لخلية الثدييات بينما يطلق على محلول كلوريد الصوديوم الذى يقل تركيزه عن ٩ر٠ ٪ قليل التوتر لهذه الخلية.

ولايملك غشاء الخلية النفاذية الاختيارية Selective Permeability فى جميع أنواع الخلايا. كما أنها ليست ثابتة لأية خلية واحدة. ويتباين الغشاء الخلوى تبعاً لوظيفة الخلية. وطبقاً للنظرية التى تقول بأن النفاذية الاختيارية لغشاء الخلية هى العامل الفاصل فى تبادل المواد بين البروتوبلازم والوسط المحيط فإنه من الضرورى أن تختلف درجة النفاذية تبعاً لاحتياجات هذا التبادل، كما

هى محددة بأنشطة البروتوبلازم. ومن المعتقد بأن مثل هذه التغيرات فى النفاذية تحدث من قبل المركبات الكيميائية المتكونة خلال الأنشطة البروتوبلازمية.

إن الاختلاف الموجود بين الطبقة الخارجية والطبقة الداخلية للبروتوبلازم هو نتيجة التفاعل بين الطبقة الخارجية والوسط المحيط. وهكذا فإن التغيرات فى الوسط المحيط ربما تسبب تغيرات فى النفاذية الاختيارية. ومن بين التغيرات المحيطية العديدة التى تزيد من النفاذية الاختيارية الزيادة فى درجة الحرارة والتيار الكهربى والأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية. وتعتبر زيادة النفاذية الاختيارية هى النتيجة الأولى لتحفيز التركيب البروتوبلازمى، كما أن فقدان قابلية الإثارة نتيجة لاستعمال التخدير يحدث من جراء ادمصاص المخدر على غشاء الخلية مما يخفض من نفاذيته الاختيارية.

ويتضح تأثير المركبات الكيميائية على النفاذية الاختيارية من خلال وضع الخلية فى محلول كلوريد الصوديوم متساوى التوتر. وتزداد فى هذا المحلول نفاذية غشاء الخلية باستمرار مع الوقت وتدخل جميع المواد إلى الخلية وتموت الخلية تدريجياً. أما إذا أضيفت كمية قليلة من كلوريد الكالسيوم لمحلول كلوريد الصوديوم تسترجع النفاذية لفترة أطول وتطول حياة الخلية. وبصورة عامة فإن الصوديوم والبوتاسيوم يزيدان من النفاذية بينما يقلل الكالسيوم منها.

رابعا : النفاذية الاختيارية *Selective Permeability*

يكمن معنى النفاذية الاختيارية فيما يتمتع به الغشاء الخلوى من قدرة على السماح بدخول بعض المواد وعدم السماح بدخول مواد أخرى إلى الخلية. وعكس هذا وارد، إذ تعمل النفاذية الاختيارية فى كلا الاتجاهين من الغشاء الخلوى. وهذا يوضح مايحدث من عدم امتزاج بروتوبلازم الخلية مع السائل المحيط بها. وتحدد النفاذية الاختيارية نوع وكمية المواد التى تمر إلى داخل وخارج الخلية.

خامساً ـ النقل غير النشط *Passive Transport*

النقل غير النشط هو الذى يحدث من وسط عالى التركيز إلى وسط منخفض التركيز. لذا فهو لايحتاج إلى طاقة. ومن الأمثلة على ذلك أن الأيض داخل الخلية يخفض تركيز الأكسجين ويزيد تركيز ثانى أكسيد الكربون فينتشر الأكسجين أكثر إلى الداخل وينتشر ثانى أكسيد الكربون أكثر إلى الخارج. ومع أن الطاقة الأيضية متوفرة فلاتوجد حاجة لاستخدام هذه الطاقة.

سادساً ـ النقل النشط *Active Transport*

النقل النشط هو الذى يحدث باتجاه معاكس للتركيز أى من وسط أقل تركيزاً إلى وسط أعلى تركيز. لذا فهو يحتاج إلى طاقة. والنظرية التى تفسر آلية النقل النشط عبر الأغشية تقترح أن جزيئات المواد المنقولة ترتبط مع ناقل عبارة عن حامل بروتينى أو دهنى أو إنزيم خاص ينقلها إلى داخل الخلايا. ومن أمثلة النقل النشط امتصاص نواتج هضم البروتينات فى الأمعاء الدقيقة.

الفصل الثاني

الإنزيمـــــات

Enzymes

الفصل الثانـــى

الإنزيمـــــــات

مفهــوم الإنـــزيم

الإنـزيم Enzyme هو عـامل مـسـاعـد ذو تركـيب بروتينى عـالى الوزن الجزيئى. وكغيره، من البروتينات يتألف الإنزيم من اتحاد عدد كبير من الأحماض الأمينية تكون فيما بينها سلسلة أو أكثر من عديد الببتيد. وتوجد الأحماض الأمينية فى هذه السلاسل وفق تتابع معين خاص بكل إنزيم مما يؤدى فى النهاية إلى تركيب فراغى محدد يمكن الإنزيم من القدرة على تسريع حدوث تفاعل خاص به.

وتتشابه الإنزيمات فى فعلها مع العوامل المساعدة الكيميائية الأخرى. إذ أنها تشارك فى التفاعل دون أن تتغير بنتيجته، أى أنها تعود فى نهاية التفاعل إلى وضعها الأصلى الذى كانت عليه قبل بدء التفاعل. لكنها تمتاز عن العوامل المساعدة الأخرى بكفاءتها العالية. فللإنزيمات قدرة فائقة على تسريع التفاعلات الكيميائية حتى فى الظروف المعتدلة من تركيز أيون الهيدروچين ودرجة الحرارة. كما تمتاز عن العوامل المساعدة الأخرى بالدرجة العالية من التخصص التى تتمتع بها حيال المادة المتفاعلة ونوع التفاعل. فكل إنزيم يختص بمادة متفاعلة واحدة يطلق عليها المادة الهدف Substrate . وقد يختص الإنزيم

بمجموعة محددة من المواد المتشابهة فى التركيب. والأمثلة على اختلاف الإنزيمات باختلاف المادة الهدف عديدة يذكر منها تميؤ الرابطة الجليكوسيدية أو الرابطة الاسترية أو الرابطة الببتيدية فى جزيئات الكربوهيدرات والدهون والبروتين على التوالى.

وتختلف الإنزيمات باختلاف نوع التفاعل الكيميائى الواقع على المادة الهدف. فمن التفاعلات الكيميائية التى تجرى على الأحماض الأمينية يذكر تفاعلات ازالة مجموعة الأمين مع الأكسدة Oxidative Deamination أو نقل مجموعة الأمين إلى حامض كيتونى Transamination أو ازالة مجموعة الكربوكسيل Decarboxylation. ولكل تفاعل من تلك التفاعلات إنزيم خاص به حتى لو كان نفس الحامض الأمينى هو الذى يدخل فى كل التفاعلات.

المرافق الإنزيمى أو الكوإنزيم *Coenzyme*

تتكون الإنزيمات من بروتين على هيئة سلاسل من عديد الببتيد. وفى بعض الإنزيمات يوجد إلى جانب سلسلة عديد الببتيد مركب عضوى سهل الذوبان فى الماء مثل أنواع فيتامين B أو عنصر معدنى كالحديد أو النحاس أو الزنك. وتسمى هذه المادة الملحقة إلى جانب سلسلة عديد الببتيد بمرافق الإنزيم أو كوإنزيم. وهى ترتبط بالجزء البروتينى من الإنزيم وقت التفاعل فقط، ولابد من وجودها لإتمام هذا التفاعل. أما بقية الإنزيم وهو سلسلة عديد الببتيد فيسمى أبوإنزيم Apoenzyme ويشكل المرافق الإنزيمى مع الأبوإنزيم مايسمى بالإنزيم الكامل Haloenzyme. ويعمل الجزآن سوياً أثناء التفاعل، ولايعمل الجزء البروتينى وحده ولامرافق الإنزيم كذلك. ويمكن للمرافق الإنزيمى (كفيتامين B الذى يقوم بهذا الدور) أن ينفصل عن الأبوإنزيم. ومن ثم يصبح الأبوإنزيم عاجزاً عن تسريع التفاعل. وقد يتم ذلك دون خلل فى

عمل الإنزيم. ومن خصائص المرافق الإنزيمى سهولة فصله عن الجزء البروتينى بعملية الفصل الغشائى Dialysis فقط. والمرافق الإنزيمى غالبًا ما يكون أحد الڤيتامينات. فمثلاً المرافق الإنزيمى A (Coenzyme A) والذى يسمى اختصاراً كو A Co A يحتوى على حامض البانتوثينيك Pantothenic Acid الذى يعتبر أحد أنواع ڤيتامين B المركب. وأحيانا يكون المرافق الإنزيمى (كالعناصر المعدنية مثل الحديد والنحاس والزنك) مرتبطًا ارتباطًا وثيقًا بالأبوإنزيم وفى كل وقت بحيث يستحيل فصلهما. وهنا يسمى بالمجموعة المرافقة Prosthetic Group مثل وجود الحديد فى تركيب إنزيم السيتوكروم أكسيديز Cytochrome Oxidase والبيرأكسيديز Peroxidase والكاتيليز Catalase، ومثل وجود النحاس ضمن تركيب إنزيم أكسيديز حامض الأسكوربيك Ascorbic Acid Oxidase، ومثل وجود الزنك فى تركيب إنزيم كربونيك أنهيدريز Carbonic Anhydrase. وهذه العناصر المعدنية لايمكن فصل أى منها عن الجزء البروتينى بواسطة عملية الفصل الغشائى Dialysis.

تسمية الإنزيمات

كانت الإنزيمات تسمى سابقًا طبقًا لطبيعة عملها أو مكان وجودها كالببسين والبتيالين. لكن مع اكتشاف المزيد من الإنزيمات ووجود أكثر من إنزيم للمادة الهدف الواحدة أصبح من الضرورى وضع نظام يزيل أى لبس فى ذلك. فاشتق اسم الإنزيم من اسم الهدف الذى يعمل عليه مع إضافة نهاية ase عليه. فيصبح اسم الإنزيم الذى يعمل على النشا أميليز Amylase والذى يعمل على الدهون ليبيز Lipase وهكذا. ثم جاء الاتحاد الدولى للكيمياء الحيوية فوضع طريقة لترقيم الإنزيمات تعطى لكل إنزيم رقم خاص به. وقسمت التفاعلات الكيميائية بموجب هذا النظام إلى ستة أنواع رئيسية يحتوى كل نوع منها على عدد من الأنواع الفرعية التى تتكون من أنواع

ثانوية، فمثلاً يسمى إنزيم ما كالآتى: E.C.1.2.1.7. يدل الرقم الأول على النوع الرئيسى للتفاعل بينما يدل الرقم الثانى على النوع الفرعى ويدل الرقم الثالث على النوع الثانوى ويدل الرقم الرابع على الإنزيم نفسه. أما الحرفان E و C فهما الحرفان الأولان من كلمتى Enzyme و Commisson أى لجنة الإنزيمات التى شكلها الاتحاد الدولى للكيمياء الحيوية لوضع هذه التسمية الدقيقة.

تصنيف الإنزيمات

تصنف الإنزيمات إلى ستة أنواع رئيسية هى :

١- **إنزيمات النقل** *Transferases* : وتشمل جميع الإنزيمات التى تعمل فى التفاعلات الخاصة بنقل المجموعات من مركب إلى آخر. وهى تقوم بنقل مجموعة كيميائية من مادة هدف إلى أخرى. ومن أمثلتها الإنزيمات التى تنقل مجموعة الفوسفات من مركب أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP إلى الجلوكوز أو التى تنقل الجلوكوز إلى الجليكوجين. ومنها إنزيمات Transmethylases, Transacylases, Transaminases.

٢- **إنزيمات الأكسدة والإختزال** *Oxidoreductases* : وتشمل جميع الإنزيمات التى تعمل فى تفاعلات الأكسدة والإختزال. وهى تقوم بنقل الالكترونات من مادة هدف إلى أخرى فتؤكسد الأولى وتختزل الثانية. ومنها إنزيمات Hydrases, Peroxidases, Oxidases, Dehydrogenases.

٣- **إنزيمات التميؤ** *Hydrolases* : وتشمل جميع الإنزيمات التى تعمل فى تفاعلات التحلل المائى. وهى تقوم بتحطيم بعض الروابط بإضافة الماء. ومنها الإنزيمات التى تعمل على تميؤ الروابط الجلايكوسيدية والإسترية والببتيدية (Amylase, Sucrase, Proteases).

٤- **إنزيمات الفصل** *Lyases* : وتشمل جميع الإنزيمات التى تعمل على نزع مجموعة كيميائية من المادة الهدف دون إضافة الماء حيث يحل محل ذرات المجموعة المنزوعة رابطة مزدوجة مثل فصل مجموعة الأمين فى صورة أمونيا ومنها إنزيمات Decarboxylases و Aldolases .

٥- **إنزيمات التشكل** *Isomerases* : وتشمل جميع الإنزيمات التى تعمل على تحويل المادة الهدف إلى متشكل آخر. ومنها إنزيمات Intramolecular Transferases و Cis-Transisomerases.

٦- **إنزيمات الارتباط** *Ligases* : وتشمل جميع الإنزيمات التى تعمل على إنشاء رابطة جديدة بين مركبين مختلفين. وتعتمد فى ذلك على الطاقة المختزنة فى جزئ أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP . ومنها إنزيم RNA Ligase الذى يشترك فى عمليات بناء البروتين فى الخلية.

الإنزيمات المتماثلة أو الأيزوانزيمات *Isoenzymes*

تأخذ بعض الإنزيمات أشكالاً عديدة تختلف فيما بينها فى خصائصها الكيميائية، لكنها تشترك فى قدرتها على حفز التفاعل الكيميائى نفسه. ومن الأمثلة على ذلك إنزيم لاكتات ديهيدروجينيز LDH الذى وجد منه خمسة أشكال فى مصل دم الإنسان. وقد أمكن فصل هذه الأشكال الخمسة بواسطة التيار الكهربى Electrophoresis مع أنها متماثلة فى الوزن الجزيئى. والسبب فى ذلك هو أن لهذه الأشكال شحنات مختلفة بسبب اختلاف الأحماض الأمينية المكونة لها. فقد تبين أن جزئ الإنزيم مؤلف من تجمع أربعة من سلاسل عديد الببتيد من H أو M أو كليهما. فالأشكال الخمسة لهذا الإنزيم تعبر عن الطرق المختلفة لاتحاد هاتين السلسلتين لاعطاء مركب رباعى. ويمثل ذلك بالرموز التالية: H_4 وM_4 و MH_3 و M_2H_2 و M_3H .

آلية عمل الإنزيم

فى أى تفاعل إنزيمى يرتبط الإنزيم (E) مع المادة الهدف (S) ليكونا معًا معقد الإنزيم والمادة الهدف (ES complex) هكذا :

$$E + S \rightleftharpoons ES$$

ويتم هذا الارتباط على موقع معين فى تركيب الإنزيم يسمى الموقع النشط Active Site. ولايشغل هذا الموقع النشط سوى حيز بسيط من سطح الإنزيم. ويتألف من عدد محدود من الأحماض الأمينية المشكلة لجزئ الإنزيم. وليس من الضرورى أن تكون الأحماض الأمينية المشكلة للموقع النشط متتابعة أم متقاربة فى سلسلة عديد الببتيد، بل هى غالبًا تتكون من انثناء السلسلة أو انحنائها. فتتقارب لتعطى بناءًا محددًا يناسب على نحو ما بناء المادة الهدف. وتشبه ملاءمة أى إنزيم للمادة الهدف الخاصة به بملاءمة المفتاح للقفل الذى صمم له.

والخطوة التالية لارتباط الإنزيم مع المادة الهدف هى تحول الهدف (S) إلى ناتج (P). أما الخطوة الأخيرة فهى تفكك ناتج التفاعل (P) عن الإنزيم (E). هذا ويمكن تلخيص خطوات التفاعل الإنزيمى كمايلى:

$$E + S \rightleftharpoons ES \rightleftharpoons EP \rightleftharpoons E + P$$

وتصور المعادلة الإنزيم على أنه أحد مواد التفاعل وأحد نواتجه. وهذا ما يفسر امكانية استمرار عمل الإنزيم فى تسريع التفاعل إلى كميات كبيرة من المادة الهدف بواسطة كمية قليلة من الإنزيم. فجزئ الإنزيم الذى ينتج بعد تحول كل جزئ من جزيئات الهدف قادر على إعادة الكرّة ليحول جزيئًا ثانيًا وثالثًا وهكذا. وهذه التغيرات تتم فى فترة وجيزة لاتتجاوز جزءًا من الثانية.

العوامل المؤثرة على سرعة التفاعل الإنزيمى

تتأثر سرعة التفاعل الإنزيمى بمجموعة من العوامل من أهمها تركيز المادة الهدف وتركيز الإنزيم وتركيز أيون الهيدروچين ودرجة الحرارة ووجود المثبطات.

١- تركيز المادة الهدف

تزداد سرعة التفاعل طردياً بزيادة تركيز المادة الهدف عندما يكون هذا التركيز منخفضاً. أما إذا كان عالياً فتصبح سرعة التفاعل ثابتة مهما زاد تركيز المادة الهدف.

٢- تركيز الإنزيم

تزداد سرعة التفاعل طردياً بزيادة تركيز الإنزيم.

٣- درجة الحرارة

يؤدى التسخين بصورة عامة إلى تسريع التفاعلات الكيميائية. وينطبق هذا إلى حد معين على التفاعلات الإنزيمية، إلا أن الإنزيمات هى بروتينات تفسد بالحرارة وتفقد فاعليتها. لذا فلكل تفاعل إنزيمى درجة حرارة مناسبة تكون سرعة التفاعل عندها أكبر مايمكن ثم تقل السرعة إذا زادت الحرارة عن ذلك أو نقصت.

٤- تركيز أيون الهيدروجين

لكل إنزيم تركيز أيون هيدروجين (pH) مناسب يكون عنده فاعليته أكبر مايمكن. وتقل هذه الفاعلية إذا تغير هذا التركيز عن ذلك ارتفاعاً أو انخفاضاً. ويتراوح تركيز أيون الهيدروجين المناسب لكثير من الإنزيمات بين ٥ ، ٩، إلا أن بعض الإنزيمات يعمل فى وسط شديد الحموضة مثل إنزيم الببسين بينما يميل تركيز أيون الهيدروجين المناسب لبعض الإنزيمات إلى القلوية كما هو الحال فى إنزيم الفوسفاتيز القلوى.

٥- وجود المثبطات وأنواعها

تتحد بعض المواد مع إنزيمات معينة فتمنع ارتباطها مع المادة الهدف. وبذا تضعف فاعلية الإنزيم ويتجلى ذلك فى نقص سرعة التفاعل. وتعرف هذه المواد بالمثبطات Inhibitors . وقد يكون التثبيط عكسياً Reversible Inhibition أى يزول بزوال المثبط، أو يكون غير عكسى Irreversible Inhibition أى لايزول بزوال المثبط. وتتوقف الحالتان على شدة الارتباط بين المثبط والإنزيم. فإذا كان الارتباط ضعيفاً كان التثبيط من النوع العكسى وإذا كان الارتباط قوياً كان التثبيط من النوع غير العكسى.

أ - التثبيط العكسى *Reversible Inhibition*

فى هذا النوع من التثبيط تستعاد فاعلية الإنزيم إذا أمكن التخلص من المثبط بطريقة ما. ويمكن تمييز نوعين من التثبيط العكسى هما التثبيط التنافسى والتثبيط غير التنافسى.

ـ التثبيط التنافسى *Competitive Inhibition*

فى هذا النوع يشبه تركيب المثبط تركيب المادة الهدف. لذا فإنه يرتبط مع الإنزيم على الموقع النشط مانعاً بذلك ارتباط المادة الهدف بالإنزيم. وبذا فإن المثبط والمادة الهدف يتنافسان على الارتباط بالإنزيم فيمنع كل منهما الآخر من الارتباط مع جزئ بعينه من الأنزيم فى الوقت نفسه. وبناءً على ذلك يمكن التقليل من أثر المثبط بزيادة عدد جزيئات المادة الهدف بحيث تزداد فرصة التقائها مع الإنزيم، ومن ثم يقل احتمال ارتباطه بالمثبط. ومن الأمثلة على هذا النوع من التثبيط تثبيط إنزيم سكسينات ديهيدروجينيز وهو أحد إنزيمات دورة كريبس الذى يؤكسد السكسينات إلى فيومارات. ويمكن لكل من المالونات والمالات والأوكسالواسيتات أن ترتبط مع الإنزيم فتثبط أكسدة السكسينات.

ـ التثبيط غير التنافسى *Non Competitive Inhibition*

فى هذا النوع من التثبيط يرتبط المثبط مع الإنزيم على موقع آخر غير الموقع النشط الذى يرتبط معه الهدف. لذا يمكن أن يرتبط كلاهما مع الإنزيم فى وقت واحد، إلا أن ارتباط المثبط فى هذه الحالة يمنع الإنزيم من اتمام التفاعل. ولما كان ارتباط الهدف مع الإنزيم لايحول دون ارتباط المثبط فإن زيادة تركيز المادة الهدف لايقلل من تأثير المثبط. بل تبقى جميع جزيئات الإنزيم المرتبطة بالمثبط والهدف معاً أو المرتبطة بالمثبط وحده عاجزة عن اتمام التفاعل. ولايمكن تحقيق السرعة القصوى للتفاعل مهما كان تركيز الهدف.

ب ـ التثبيط غير العكسى *Irreversible Inhibition*

غالباً مايكون الارتباط فى التثبيط غير العكسى ارتباطاً قوياً من خلال روابط تساهمية. ومن أشهر المثبطات غير العكسية غاز الأعصاب المستخدم فى الحروب الكيميائية والمركبات الفوسفورية المستخدمة كمبيدات حشرية. كل هذه المواد ترتبط مع الإنزيمات التى تتأثر بها بروابط تساهمية بين ذرة الفوسفور ومجموعة الهيدروكسيل فى أحد جزيئات حامض السيرين.

ومن الإنزيمات التى تتثبط بمركبات الفوسفور إنزيمات التربسين والكيموتربسين والأستيل كولين استيريز. وتعزى الوفاة عند التسمم بهذه المواد إلى تثبيط إنزيم الأستيل كولين استيريز. فمن المعروف أن للأستيل كولين دوراً هاماً فى نقل التنبيه العصبى للعضلات. فإذا زاد تركيزه نتيجه لضعف الإنزيم المسئول عن تحطيمه أدى ذلك إلى تقلص العضلات بما فيها عضلات التنفس بشكل دائم فتحدث الوفاة نتيجة لتوقف التنفس وتوقف عمل القلب.

تنظيم فاعلية الإنزيم

للخلية الحية قدرة على المحافظة على تثبيت الوسط الداخلى فيها. والوسيلة

المتبعة للمحافظة على ثبات الوسط الداخلى هى فى أغلب الأحيان تنظيم تدفق كل مادة عبر المسارات الأيضية المختلفة التى تتألف من سلسلة من التفاعلات الإنزيمية يتم بموجبها تحويل مركب ما إلى مركب آخر أو أكثر من مركب. وقد يكون لاختلاف تركيز أيون الهيدروچين أو درجة الحرارة أو توافر المادة الهدف أو التثبيط غير التنافسى دور فى عملية التنظيم إلا أن تنظيم معظم التفاعلات الإنزيمية يتم بعوامل أخرى هى :

١ـ تعديل كمية الإنزيم

تتحدد كمية الإنزيم بالفرق بين سرعة تكونه وسرعة تحطمه. ويمكن أن تنظم كمية بعض الإنزيمات بتنظيم سرعة تكونها. كما تنظم كمية إنزيمات أخرى بالتحكم فى سرعة تحطمها، فمثلاً يتم تنظيم صنع الكوليستيرول فى الخلايا عندما يتوافر فى الغذاء بتقليل صنع الإنزيم المسئول عن حفز الخطوة الأولى فى المسار الأيضى المختص بصنع الكوليستيرول. وكذلك إنزيم السيتوكروم ٤٥٠ المسؤول عن أيض بعض الأدوية تكون كميته قليلة فى خلايا الكبد فى الحالات العادية. لكن تلجأ خلايا الكبد إلى صنع المزيد من هذا الإنزيم عند تناول بعض الأدوية مثل الباربيتيورات التى يلزم هذا الإنزيم للتخلص منها. وتعرف الإنزيمات التى يزداد معدل بنائها بفعل مواد معينة بالإنزيمات القابلة للتحريض Inducible Enzymes .

٢ـ تحويل طليعة الإنزيم *Proenzyme* إلى إنزيم أنشط *Active Enzyme*

من الإنزيمات ما يصنع أولاً فى شكل غير نشط يسمى طليعة الإنزيم Proenzyme فإذا دعت الحاجة لتنشيط هذا الإنزيم تم ذلك بتغيير بسيط فى تركيبه، كأن يزال جزء من سلسلة عديد الببتيد المكونة له، فيتحول بذلك إلى إنزيم نشط Active Enzyme . ومن أمثلة الإنزيمات التى تتكون فى صورة غير نشطة إنزيما الهضم الببسين والتربسين وإنزيم الثرومبين اللذين يتكونون أولاً على صورة بيسينوجين وتربسينوجين وبروثرومبين على التوالى.

٣ـ إضافة مجموعة كيميائية برابطة تساهمية

تتغير فاعلية كثير من الإنزيمات بإضافة مجموعة مثل الفوسفات إلى جزئ الإنزيم وذلك بإنشاء رابطة تساهمية بين هذه المجموعة وحامض أمينى محدد فى الإنزيم مثل السيرين. ويؤدى هذا إلى زيادة أو نقص فى فاعلية الإنزيم حسب نوع ذلك الإنزيم. ومن الأمثلة على هذه الطريقة إضافة مجموعة الفوسفات إلى إنزيم جليكوجين فوسفوريليز Glycogen Phosphorylase الذى يعمل على تحطيم جزئ الجليكوجين إلى جزيئات جلوكوز. فينشط هذا الإنزيم عندما تضاف إليه مجموعة فوسفات من إنزيم آخر، وبالعكس تضعف فاعلية الإنزيم المصنع للجليكوجين Glycogen Synthetase بإضافة مجموعة الفوسفات.

٤ـ المنشطات *Activators*

تحتوى معظم الإنزيمات على موقع نشط واحد فى كل جزئ، إلا أن هناك مجموعة من الإنزيمات تحتوى على أكثر من موقع نشط. وتسمى هذه الإنزيمات بالإنزيمات ذات الموقع الآخر أو الإنزيمات الألوسترية Allosteric Enzymes. ويرتبط على أحد المواقع النشطة جزئ المادة الهدف بينما يرتبط على الموقع الآخر مركب كيميائى معين برابطة ضعيفة غير تساهمية. ويؤدى ارتباط تلك المركبات الكيميائية إلى تغير فى نشاط الإنزيم زيادة أو نقصاناً، وهى لذلك تسمى معدلات Modifiers. وتسمى المعدلات التى تزيد من نشاط الإنزيم نتيجة لارتباطها على الموقع الآخر منشطات Activators. أما المركبات التى تضعف من نشاط الإنزيم فتسمى بالمثبطات Inhibitors.

الفصـل الثالث

المـواد الغـذائية

Food Materials

الفصل الثالث

المواد الغذائية

الغـــــــــذاء

الغذاء هو كل ما يدخل إلى جسم الكائن الحى من مواد، يبنى بها مادته الحية ويحصل منها على الطاقة. وللغذاء أهمية تتمثل فى أمور عدة. إذ أنه المتكفل ببناء المادة الحية، وتعويض التالف منها، والحصول على الطاقة اللازمة للأنشطة الحيوية، وانتاج حرارة تساهم فى حفظ حرارة الجسم ثابتة، ووقاية الجسم من الأمراض.

أنواع المواد الغذائية

تنحصر المواد الغذائية فى نوعين رئيسين هما : المواد الغذائية العضوية والمواد الغذائية غير العضوية.

أولا : المواد الغذائية العضوية

يقصد بالمواد الغذائية العضوية الكربوهيدرات والبروتينات والليبيدات.

١ـ الكربوهيدرات *Carbohydrates*

الكربوهيدرات مصطلح يشير إلى مجموعة كبيرة من المركبات عديدة

الهيدروكسيل تحوى مجموعة الدهيد (CHO) أو مجموعة كيتون (C=O). كما يشير أيضا إلى المركبات التى تؤدى بالتميؤ أو التحلل المائى Hydrolysis إلى تلك الألدهيدات أو الكيتونات عديدة الهيدروكسيل. وتنقسم الكربوهيدرات إلى ثلاثة أقسام :

سكاكر أحادية *Monosaccharides*: وهى التى لايمكن أن تتميأ (تتحلل بواسطة الماء) إلى أبسط منها. وتنقسم إلى:

أ ـ **تريوزات** *Trioses*: وهى السكاكر الأحادية التى تحتوى على ثلاث ذرات كربون مثل ثنائى هيدروكسى الأسيتون.

ب ـ **تتروزات** *Tetroses* : وهى السكاكر الأحادية التى تحتوى على أربع ذرات كربون مثل الإريثروز.

جـ ـ **بنتوزات** *Pentoses* : وهى السكاكر الأحادية التى تحتوى على خمس ذرات كربون مثل الريبوز.

د ـ **هكسوزات** *Hexoses* : وهى السكاكر الأحادية التى تحتوى على ست ذرات كربون مثل الجلوكوز (سكر العنب) والفركتوز (سكر الفاكهة) والجالاكتوز (سكر اللبن الأحادى) .

وعلى حسب مجموعة الألدهيد أو الكيتون التى يحتوى عليها السكر يشار إلى هذه السكاكر بالألدهيدية Aldoses أو الكيتونية Ketoses. لذا فإن السكر الخماسى الكربون الذى يحوى مجموعة ألدهيد يسمى ألدوبنتوز Aldopentose. أما السكر الثلاثى الكربون الذى يحوى مجموعة كيتون فيسمى كيتوتريوز Ketotriose، وهكذا.

سكاكر ثنائية *Disaccharides* : وهى التى تتميأ إلى جزيئين من السكاكر الأحادية. ومن أمثلة هذه السكاكر: المالتوز (سكر الشعير) والسكروز (سكر المائدة أو سكر القصب) واللاكتوز (سكراللبن) . وكل منها يتميأ إلى جزيئين من السكاكر الأحادية.

Maltose $\xrightarrow{H_2O}$ Glucose + Glucose
مالتوز جلوكوز جلوكوز

Sucrose $\xrightarrow{H_2O}$ Glucose + Fructose
السكروز جلوكوز فركتوز

Lactose $\xrightarrow{H_2O}$ Glucose + Galactose
اللاكتوز جلوكوز جلوكوز

سكاكر عديدة *Polysaccharides* : وهى التى تتحيأ إلى أكثر من جزيئين من السكاكر الأحادية. ومن أمثلة هذه السكاكر النشا والجليكوجين والسليلوز والكيتين.

أهمية الكربوهيدرات

تكمن أهمية الكربوهيدرات فى أنها:

١ـ مصدر هام للطاقة اللازمة لأنشطة الجسم المختلفة.

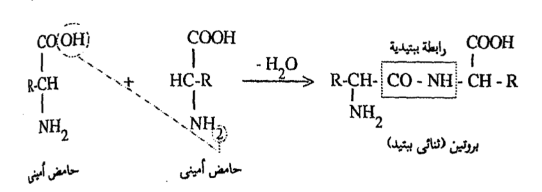
٢ـ مصدر لذرات الكربون اللازمة لتصنيع مكونات الخلية الحية.

٣ـ تدخل فى تركيب جدر الخلايا كما تدخل فى بناء المورثات.

٢ـ البروتينات *Proteins*

تعنى كلمة بروتين الغذاء ذا المقام الأول. ويفسر هذا المعنى أهميتها فى أنها هى وحدها البانية للمادة الحية والتى يعتمد الجسم عليها فى بناء خلاياه وأنسجته المختلفة. ويتركب البروتين من وحدات بنائية تسمى الأحماض الأمينية ترتبط مع بعضها البعض عن طريق روابط ببتيدية -CO-NH- تنشأ أساساً من اتحاد مجموعة أمين -NH_2 لحامض أمينى مع مجموعة كربوكسيل COOH- لحامض أمينى آخر مع نزع جزئ ماء ليتكون بروتين يعرف بثنائى الببتيد Dipeptides كالتالى :

وإذا أضيف حامض أمينى ثالث إلى الحامضين الأمينيين السابقين واتحد

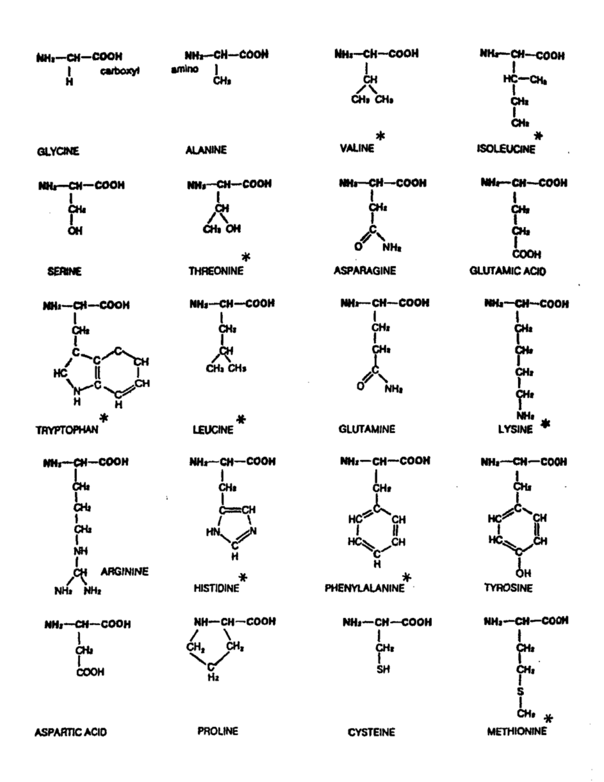


الثلاثة معاً بنفس الطريقة السابقة تكون بروتين يعرف بثلاثى الببتيد Tripeptides. وإذا اتحدت أحماض أمينية عديدة مع بعضها البعض تكون ما يعرف من البروتين بعديد الببتيد Polypeptides.

ويدخل فى تركيب البروتين حوالى ٢٧ حامض أمينى. ويمكن لهذه الأحماض أن تترتب بطرق مختلفة لتعطى أشكالاً مختلفة من البروتينات وتقسم الأحماض الأمينية إلى مجموعتين (شكل ٤) هما :

١- أحماض أمينية أساسية *Essential Amino Acids* : وهى التى لايستطيع الجسم تكوينها ولايستطيع البقاء بدونها. لذا فلابدله من الحصول عليها من مصادر غذائية. وهى توجد بنسب عالية فى البروتينات الحيوانية. ومن أمثلة هذه الأحماض : الفالين والأيزوليوسين والثريونين والتريبتوفان واللايسين والهستيدين والفينيل ألانين والميثيونين.

٢- أحماض أمينية غير أساسية *Nonessential Amino Acids* : وهى التى يستطيع الجسم تكوينها، كما يمكن الحصول عليها أيضا من مصادر غذائية. وتوجد فى البروتينات الحيوانية والنباتية. لهذا فإن على النباتيين من حين لآخر تناول مواد بروتينية حيوانية. ومن هذه الأحماض الجليسين والألانين والسيرين والأسباراجين وحامض الجلوتاميك والجلوتامين والأرجنين والتيروسين وحامض الأسبارتيك والبرولين والسيستين.



شكل (٤)
الأحماض الأمينية

* تمثل الأحماض الأمينية الأساسية، أما الأحماض الأمينية الباقية فكلها غير أساسية.

وتنقسم البروتينات طبقا لتكوينها وذائبيتها إلى ثلاثة أنواع :

١ـ البروتينات البسيطة *Simple Proteins* : وهى التى تعطى عند تميؤها أحماضاً أمينية فقط. ومن أمثلة ذلك بياض البيض وبلازما الدم.

٢ـ البروتينات المقترنة *Conjugated Proteins* : وهى التى تكون متصلة بمادة غير بروتينية تدعى بالمجموعة المرافقة Prosthetic Group مثل النيوكليوبروتين والفوسفوبروتين والكازين والهيموجلوبين.

٣ـ البروتينات المشتقة *Derived Proteins* : وهى البروتينات التى تنتج من عمليات فك الارتباط فى البروتينات المقترنة أو تميؤ البروتينات البسيطة أو تغيير الطبيعة الأساسية لأى بروتين فى عملية الإفساد Denaturation, ومن أمثلتها الببتيدات الثنائية والمتعددة والببتونات.

إفساد البروتينات *Denaturation*

توجدعوامل عديدة تفسد الترتيب الخاص والمميز للبروتين بما فيه من انثناء وانطواء والتفاف. ومن هذه العوامل التسخين أو إضافة حامض قوى أو قاعدة قوية أوكحول أو يوريا أو استخدام الضوء فوق البنفسجى أو الأشعة السينية. وتؤدى هذه العوامل إلى إبطال الأفعال المتبادلة والروابط المختلفة فى تركيب البروتين. وتغدو سلسلة البروتين مفتوحة ممتدة. وأحياناً يكون الإفساد نهائياً، وأحيانا أخرى يكون مؤقتاً.

أهمية البروتينات

تقوم البروتينات فى الجسم بالأدوار الآتية :

١ـ بناء أنسجة الجسم بغرض النمو أو تجديد التالف منها.

٢ـ تدخل فى تركيب الإنزيمات والهرمونات والمورثات والأجسام المضادة.

٣ـ بعض البروتينات لها دور هام مثل الكولاجين الذى يشترك فى تركيب الأنسجة الضامة.

٣ـ الليبيدات *Lipids*

الليبيدات هى مركبات غير متأينة، ويطلق عليها أحياناً غير مستقطبة Nonpolar. لذا لاتذوب فى الماء، لكنها تذوب فى المذيبات العضوية مثل البنزين والإيثر والأسيتون والكلوروفورم والكحول الإيثيلى. كما أنها تحتوى على نسبة عالية من الروابط الكيميائية (كربون ـ هيدروجين) أكثر من أية مركبات عضوية أخرى. ولهذا فهى تختزن كمية كبيرة من الطاقة إذا ما قورنت بالمركبات العضوية الآخرى.

ويقوم الجسم بخزن هذه المواد بكميات كبيرة. ويعتمد عليها فى الحصول على جزء كبير من الطاقة الضرورية لأنشطته الحيوية. إذ يعطى الجرام الواحد من الدهون عند أكسدته إلى ثانى أكسيد الكربون وماء ضعفى قدر الطاقة التى يعطيها الجرام الواحد من كل من الكربوهيدرات والبروتينات.

وتنقسم الليبيدات إلى أربعة أقسام هى :

أ ـ الليبيدات البسيطة *Simple Lipids* : وهى إسترات الأحماض الدهنية مع الكحولات المختلفة. وتنقسم إلى :

ـ الدهون المتعادلة *Neutral Fats*: وهى عبارة عن إسترات الأحماض الدهنية مع الجليسرول. ومن أمثلتها: الجليسريدات الأحادية والثنائية والثلاثية Mono-, Di-, Triglycerides وإيثرات الجليسريل Glyceryl Ethers.

ـ الشموع *Waxes* : وهى عبارة عن إسترات الأحماض الدهنية مع كحول آخر طويل غير الجليسرول.

ب ـ الليبيدات المركبة *Compound Lipids* : وهي تتركب من إسترات الأحماض الدهنية مع الكحولات ومجموعات أخرى. ومن أمثلتها :

ـ الفوسفوليبيدات *Phospholipids* : وكلها تتركب من اتحاد الأحماض الدهنية مع الجليسرول وحامض الفوسفوريك ومركبات نيتروجينية، ومنها :

ـ الليسيثين *Lecithins*

ـ السيفالين *Cephalins*

ـ حامض الفوسفاتيدك *Phosphatidic Acid*

ـ فوسفاتيديل سيرين *Phosphatidyl Serine*

ـ فوسفاتيديل إينوسيتول *Phosphatidyl Inositol*

ـ السفنجوليبيدت *SphingoLipids* : وكلها تتركب من اتحاد أحماض دهنية وحامض الفوسفوريك والكولين وكحول أميني وسفنجوسين، ومنها :

ـ السيربروسيدات *Cerebrosides*

ـ السيراميدات *Ceramides*

ـ السفنجوميلين *Sphingomyelins*

ـ الجانجليوسيدات *Gangliosides*

جـ ـ الليبيدات المتحدة مع مركبات أخرى، ومنها :

ـ الليبوبروتينات *Lipoproteins*

ـ الليبو عديد السكريات *Lipopolysaccharides*

د ـ الليبيدات المشتقة *Derived Lipids*، ومنها :

ـ الستيرويدات *Steroides* وتنقسم إلى :

ـ الكوليستيرول ومشتقاته *Cholesterol and related compounds*

ـ أحماض الصفراء *Bile Acids*

ـ الهرمونات *Hormones*

ـ الفيتامينات الذائبة فى الدهون *Fat Soluble Vitamins* وتشمل :

ـ فيتامين *A*

ـ فيتامين *D*

ـ فيتامين *E*

ـ فيتامين *K*

ـ التربينات *Terpens*

أهمية الليبيدات

ترجع أهمية الليبيدات إلى كونها :

١ـ مصدر للطاقة، إذ تشكل مخزوناً احتياطيا كبيراً للطاقة فى الجسم.

٢ـ لازمة لاتمام عملية امتصاص الفيتامينات التى تذوب فى الدهون.

٣ـ تشارك فى تركيب الغشاء الخلوى والميتوكوندريا والشبكة الإندوبلازمية والهرمونات الجنسية (الستيرويدات).

٤ـ تعمل كعازل للتبادل الحرارى فى الجسم، فتمنع بذلك فقدان حرارة الجسم عن طريق الإشعاع والتوصيل.

٥ـ تكون غلافاً جيداً للأعضاء الداخلية لحمايتها من الصدمات الحادة.

٤ـ الفيتامينات *Vitamins*

الفيتامينات هى مجموعة من المركبات العضوية ذات تراكيب كيميائية مختلفة وذات أوزان جزيئية منخفضة، تصنع عادة فى الأنسجة النباتية ويحتاجها الجسم بكميات قليلة جداً إذا ما قورنت بحاجته إلى المواد الغذائية الأخرى. ويمكن لبعض البكتريا صنع عدد محدود منها. ولايستطيع الانسان ولا الحيوان

تصنيع مثل هذه المركبات. لذا فمن الضرورى وجودها فى غذاء الانسان والحيوان. لكن فى عدد قليل من الحالات يمكن أن تتكون بعض الڤيتامينات فى أنسجة حيوانية نتيجة لتحولات كيميائية تطرأ على مركبات تعرف باسم طلائع الڤيتامينات Provitamins. ومثال ذلك مركبات الكاروتين التى تعد مصدراً لتصنيع ڤيتامين A.

والڤيتامينات ضرورية لكثير من العمليات الحيوية فى الجسم. فتدخل فى تركيب بعض المركبات الهامة مثل مرافقات الإنزيمات Coenzymes التى تستخدم كعوامل ناقلة فى تفاعلات التنفس الخلوى وغيرها. وهى لاتستخدم لنمو الجسم إلا أنها ضرورية لاكتمال نمو الجسم نمواً طبيعياً. ويؤدى نقص الڤيتامينات Avitaminosis فى الغذاء إلى حدوث اضطرابات خطيرة فى عمليات أيض المواد الغذائية، مما يؤدى إلى اختلالات عديدة فى أنشطة الجسم وتوازنه وبالتالى ضعفه وتعرضه للإصابة بالأمراض. ومما يجدر الإشارة إليه أن الڤيتامينات تتأثر بالحرارة تأثراً كبيراً، فتقل قيمتها الغذائية تبعاً لذلك.

تقسيم الڤيتامينات

تقسم الڤيتامينات حسب ذوبانها فى الدهون أو فى الماء إلى نوعين هما : ڤيتامينات تذوب فى الدهون وهى A, D, E, K وڤيتامينات تذوب فى الماء وهى B, C, H.

أ ـ الڤيتامينات التى تذوب فى الدهون *Fat-Soluble Vitamins*

تمتص هذه الڤيتامينات مع المواد الدهنية فى الأمعاء الدقيقة. وبالتالى فإن الخلل فى امتصاص المواد الدهنية يؤدى إلى نقصها فى الجسم. كما قد تخزن وتتراكم هذه الڤيتامينات فى الجسم، مما يؤدى إلى حدوث تسمم إذا كانت جرعاتها تزيد عن احتياج الجسم وعن قدرته على خزنها.

ـ ڤيتامين A أو الرتينول *Retinol*

المصدر الأساسى لهذا الڤيتامين هو مادة الكاروتين Carotene، وهى الصبغة الصفراء الموجودة فى الجزر والفواكه وبعض الخضروات مثل الفلفل والطماطم. وينشطر جزئ الكاروتين فى الجدار المعوى للحيوان والانسان بواسطة إنزيم الكاروتينيز Carotinase فى وجود الماء ليكون جزيئين من ڤيتامين A. كما يوجد الڤيتامين أيضا فى صفار البيض وزيت كبد السمك والكبد والزبدة.

من وظائف هذا الڤيتامين المحافظة على حيوية الجلد وعلى بطانة جهازى التنفس والهضم، وذلك من خلال المحافظة على النسيج الطلائى المغلف أو المبطن لهذه الأعضاء. كما يحافظ هذا الڤيتامين على حاسة الإبصار. إذ ترتبط حاسة الإبصار بوجود نوع معين من البروتين المعقد فى شبكية العين، عبارة عن صبغة ملونة تسمى الأرجوان البصرى أو الرودوبسين Rhodopsin. وتتركز هذه المادة فى النهايات الحساسة للعصب البصرى. وهى تتكون من اتحاد أحد البروتينات مع مركب الرتينال Retinal الذى هو ناتج أكسدة ڤيتامين A. وللرودوبسين دور هام فى التغيرات الكيميائية المصاحبة لحاسة الإبصار، إذ هو حساس جداً لتأثير الضوء فيتفكك إلى مكوناته الأولية ويفقد محتواه من الرتينال. وكلما كبرت شدة الضوء ازدادت درجة تفكك الرودوبسين، وبالتالى تزداد قدرة العين على الرؤية. وفى الظلام يعود الرودوبسين إلى حالته الأولى فتقل الرؤية. وفى حالة وجود كميات كافية من ڤيتامين A فإن الرودوبسين يعود إلى حالته الطبيعية وإلا فإن العين لايمكنها الرؤية فى الضوء الخافت. لذا فإن نقص ڤيتامين A يؤدى إلى ضعف الرؤية فى الضوء الخافت أو مايسمى بالعشى الليلى. كما يؤدى أيضا إلى جفاف الجلد وقرنية العين.

ـ ڤيتامين *D* أوالكولكالسيفيرول *Cholcalciferol*

المصدر الأساسى لهذا الڤيتامين هو مادة الإرجوستيرول Ergosterol

الموجودة تحت الجلد. وعند تعرض الجسم لأشعة الشمس (فوق البنفسجية) تتحول هذه المادة إلى ڤيتامين D. ويوجد هذا الڤيتامين أيضاً فى الكبد وزيت كبد السمك واللبن وصفار البيض.

من وظائف هذا الڤيتامين أنه يؤدى إلى ازدياد امتصاص الكالسيوم فى الأمعاء، وبالتالى يرتفع معدله فى الدم فيترسب فى النسيج العظمى.

ويؤدى نقص ڤيتامين D فى الصغار إلى ظهور مرض الكساح بسبب نقص كمية أملاح الكالسيوم فى العظام. أما فى البالغين فيؤدى إلى لين العظام Osteomalacia.

ـ ڤيتامين E أو التوكوفيرول *Tocopherol*

تعنى تسمية هذا الڤيتامين بالتوكوفيرول الانتاج الجنسى. والمصادر الرئيسية لهذا الڤيتامين هى الأوراق الخضراء والحبوب والتفاح والزيوت النباتية والبطاطس والطماطم واللبن والكبد وصفار البيض.

ولم يعرف الدور الحيوى لهذا الڤيتامين بصورة تامة بعد، إلا أنه يمكن القول بأنه ضرورى لمنع تحلل خلايا الدم الحمراء خاصة عند الصغار. كما ذكر أن له علاقة بالقوة التناسلية. وقد سبب نقصه فى ذكور وإناث حيوانات التجارب ضموراً فى الأعضاء التناسلية. وذكر أيضاً أنه يعتبر ضرورياً للنساء الحوامل ضد حالات الاجهاض. كما أنه يستعمل أحياناً لمعالجة حالات العقم عند النساء.

ـ ڤيتامين *K*

المصادر الرئيسية لهذا الڤيتامين هى الأوراق الخضراء والفواكه وصفار البيض والكبد. كما أن للبكتريا الموجودة فى الأمعاء قدرة على تصنيع قسط منه.

ومن وظائف هذا الڤيتامين أنه ضرورى لمساعدة الدم على التجلط، حيث أنه لازم لكى يكون الكبد مادة البروثرومبين اللازمة لتجلط الدم. لذا فإن نقص هذا الڤيتامين يؤدى إلى تعرض الجسم لخطر النزف، وقد يحدث نتيجة لذلك نزف تحت الجلد وداخل العضلات.

ب ـ الڤيتامينات التى تذوب فى الماء *Water-Soluble Vitamins*

تعمل هذه الڤيتامينات كمجموعات مرافقة لكثير من الإنزيمات Prosthetic Groups، فضلاً عن أنها عوامل مساعدة للوقاية من عدد كبير من الأمراض. ولاتشكل زيادة هذه الڤيتامينات أيه خطورة على الجسم. إذ يمكن التخلص منها بسهولة عن طريق البول.

ـ ڤيتامين *B* المركب

ڤيتامين B المركب هو عبارة عن مجموعة من الڤيتامينات لها أشكال مختلفة ويعرف منها :

ـ ڤيتامين B_1 أو الثيامين *Thiamine*

يكثر وجود هذا الڤيتامين فى الخبز الأسمر المحتوى على النخالة وفى الحمص والخميرة والكبد والكليتين والمخ والقلب. وهو يدخل كمجموعة مرافقة فى تركيب بعض الإنزيمات المشتركة فى دورة كريبس. إذ يدخل فى تركيب إنزيم بيروڤات ديهيدروجينيز Pyruvate Dehydrogenase الذى يقوم بنزع ثانى أكسيد الكربون من حامض البيروڤيك ليكون أستيل كوانزيم A Acetyl Co A. لذا فإن نقص هذا الڤيتامين يؤدى إلى تراكم حامض البيروڤيك. ولهذا تأثير على انتقال مجموعة الأمين، مما يؤدى إلى اختلال النسبة الطبيعية بين الأحماض الأمينية فى الخلية الحية، وهذا يؤثر بدوره على النمو خاصة لدى الأطفال. كما يؤدى نقص ڤيتامين B_1 إلى اضطراب فى العقل وضعف

فى القلب ومرض البرى برى Beri-Beri الذى يتمثل فى انخفاض وزن المصاب وفقدان الشهية وعدم التآزر بين العضلات والتهاب المفاصل.

ـ فيتامين B_2 أو الريبوفلافين *Riboflavin*

من أغنى المصادر بهذا الفيتامين الخميرة والكبد والكليتان ومشتقات السمك. كما يوجد هذا الفيتامين أيضا فى اللبن والبيض والحبوب. وله دور هام فى تفاعلات الأكسدة والاختزال، إذ أنه مكون رئيسى لحامل الإلكترون أو مرافق الإنزيم FAD. كما يدخل كمرافق إنزيمى فى بناء عدة إنزيمات مثل جلوتامات ديهيدروجينيز Glutamate Dehydrogenase والأكسيديزات Oxidases. لذا فإن نقص هذا الفيتامين يؤدى إلى خلل فى عمليات الأكسدة والاختزال وسقوط الشعر وتعب العينين والتهاب الأغشية المخاطية للتجويف الفمى والتهاب الشفتين.

ـ فيتامين B_5 أو حامض البانتوثينيك *Pantothenic Acid*

من أغنى مصادر هذا الفيتامين الخميرة والكبد وصفار البيض واللحوم والسمك واللبن والأوراق الخضراء والقمح والجزر. وترجع أهميته إلى أنه يكون المرافق الإنزيمى كو A Co-A الذى يلعب دوراً بالغاً فى عمليات التحول الغذائى للكربوهيدرات والدهون والأحماض الأمينية. إذ يكون أستيل كو A Acetyl Co A من خلال عملية الأستلة Acetylation، أى ادخال مجموعة الأستيل CH_3-CO إلى المركبات العضوية القابلة للأستلة. وتتم عملية الأستلة فى الكبد والمخ. ومن أمثلة التفاعلات التى يشترك فيها أستيل كو A تحول الكولين إلى أستيل كولين، وكذلك أكسدة حامض البيروفيك. ويؤدى نقص هذا الفيتامين إلى اصابة الغدتين الكظريتين وسقوط الشعر وفقدان الشهية للأكل وفقدان الحركة المتسقة.

- فيتامين B_6 أو البيريدوكسين *Byridoxine*

يكثر وجود هذا الفيتامين فى الأسماك والكبد والكليتين والحبوب والخميرة والبيض. وقد تقوم بعض بكتريا الأمعاء بانتاج كميات تفى بحاجة الجسم منه. ومن وظائفه أنه يدخل فى بناء بعض المرافقات الإنزيمية اللازمة لعمليات أيض الأحماض الدهنية والأمينية. ويؤدى نقص هذا الفيتامين إلى سقوط الشعر وتقشف الجلد.

- فيتامين B_7 أو النياسين أو حامض النيكوتينيك *Niacin or Nicotinic Acid*

أهم مصادر هذا الفيتامين الخميرة ونخالة القمح والحبوب والكبد واللحوم. كما يمكن لبكتريا الأمعاء أن تصنعه من الحامض الأمينى تريبتوفان. ويدخل هذا الفيتامين فى تركيب حامل الالكترون أو المرافق الإنزيمى NAD. ويؤدى نقصه إلى حالة مرضية تسمى البيلاجرا التى تعنى الجلد الخشن. وتتمثل أعراض هذا المرض فى حدوث تعب وضعف ثم خلل فى نشاط الجهاز الهضمى والتهابات فى الغشاء المخاطى للفم واللسان والجلد على الكفين والخدين. وفى المراحل الأخيرة من هذا المرض يطرأ خلل على نشاط الجهاز العصبى.

- فيتامين B_{12} أو السيانوكوبالامين *Cyanocobalamin*

أهم مصادر هذا الفيتامين الكبد والكليتان والقلب والمخ والعضلات والجبن وصفار البيض. وهو يعمل على نضج خلايا الدم الحمراء. ويؤدى نقصه إلى فقر دم (أنيميا) نتيجة لسوء تكوين خلايا الدم الحمراء.

- حامض الفوليك *Folic Acid*

يشتق اسم هذا الفيتامين من لفظة «فوليم» التى تعنى باللاتينية الأوراق الخضراء للنبات، حيث أن تلك الأوراق الخضراء هى أهم مصادر هذا

الڤيتامين. كما أنه يوجد أيضاً فى الثمار الطازجة والكليتين والعضلات والكبد واللبن والبيض. وهو يرتبط بڤيتامين B_{12} ارتباطا وثيقاً. إذ أنه يستخدم فى علاج أنواع فقر الدم (الأنيميا). ومن وظائفه أنه يشترك فى تفاعلات الأكسدة والاختزال ويساهم فى عملية تصنيع الأحماض النووية. لذا فهو مهم لانقسام الخلايا وعملية النمو ذاتها، وله دور هام فى العمل على نضوج خلايا الدم الحمراء. ويؤدى نقصه إلى حدوث فقر الدم (الأنيميا).

- ڤيتامين C أو حامض الأسكوربيك *Ascorbic Acid*

يوجد هذا الڤيتامين بكثرة فى الموالح والطماطم والفلفل وأوراق الخضروات الطازجة. وهو يتأثر بكثير من العوامل الخارجية كأكسجين الهواء والإنزيمات المؤكسدة والوسط القلوى والتسخين. ومن وظائفه أنه ضرورى لتكوين ألياف النسيج الضام، فهو يؤثر على عملية صنع بروتين الأنسجة الضامة المسمى بالكولاجين Collagen. ويؤثر هذا الڤيتامين أيضاً على فعالية عدد من الإنزيمات، إذ يقوم بتنشيط إنزيمات الكاتليز Catalase والإستيريز Esterase والأرجينيز Arginase. ويؤدى نقصه إلى حدوث مرض الأسقربوط Scurvy الذى تتمثل أعراضه فى ضعف الجسم وآلام المفاصل وخفقان القلب وضيق التنفس وضعف العظام والأسنان وتقلص الأوعية الدموية مما يؤدى إلى النزف خاصة فى اللثة.

- ڤيتامين H أو البيوتين *Biotin*

أهم مصادر هذا الڤيتامين هى صفار البيض واللبن والخميرة والطماطم والبطاطس والحبوب والكبد والكلى. وهو يعمل كمرافق إنزيمى لعدد من الإنزيمات التى تدخل فى تفاعلات مشتركة مع حامض الكربونيك. ويؤدى نقصه إلى حدوث آلام فى العضلات وضعف عام فى الجسم.

ثانيا : المواد الغذائية غير العضوية

يقصد بالمواد الغذائية غير العضوية الماء والأملاح المعدنية.

١ـ المـــــاء Water

الماء هو أساس الحياة، وهو مشارك فعال فى كل التفاعلات الكيميائية الحيوية بالجسم. وللماء مصدران يوفرانه للجسم وهما: الماء الطبيعى الذى يتم تناوله والماء الأيضى Metabolic Water الناتج عن أكسدة المواد الغذائية. وتبلغ كمية الماء الأيضى الناتجة عن أكسدة جرام واحد من كل من الدهون والكربوهيدرات والبروتينات : ١٫٠٧ و ٠٫٥٥ و ٠٫٤١ جرام، على التوالى.

ويفقد الماء من الجسم من خلال أربع طرق هى الجلد (بالتعرق) والكلى (على شكل بول) والأمعاء (فى البراز) والرئتين (على شكل بخار ماء فى الزفير). وتظل نسبة الماء فى الجسم ثابتة، لكن توزيعه عرضة للتغير باستمرار. والقوى الأسموزية هى العامل الرئيسى الذى يحكم وجود السائل وكميته فى الجسم. والمسؤول عن أكبر قدر من القوى الأسموزية هو المواد المذابة فى ماء الجسم.

ولا تقتصر أهمية المواد المذابة فى الجسم على تحكمها فى توزيع الماء فحسب بل إنها تحافظ على التوازن الحامضى القاعدى فى الجسم أيضا. وتتشكل هذه المواد المذابة فى ماء الجسم من مركبات عضوية ذات حجم جزيئى صغير كالجلوكوز واليوريا والأحماض الأمينية ومركبات عضوية ذات حجم جزيئى كبير كالبروتينات وأيونات غير عضوية تدعى اليكتروليتات مثل الصوديوم والبوتاسيوم.

ولاتؤثر المركبات العضوية ذات الحجم الجزيئى الصغير فى توزيع الماء بالجسم لأنها تنتشر بشكل حر خلال الغشاء الخلوى. وتكمن أهمية المواد

العضوية ذات الحجم الجزيئى الكبير فقط فى نقل السوائل بين الدم والسائل بين الخلوى. أما الأيونات غير العضوية فهى توجد بنسب كبيرة نسبياً فى الجسم وتؤثر فى توزيع الماء وتعمل على استبقائه فى الخلايا. ولذلك فهى من أكثر العوامل أهمية. والصوديوم والبوتاسيوم بالذات هما أبرز الأيونات الموجودة فى سوائل الجسم، ولهما تأثير قوى على القوى الأسموزية وعلى التحكم فى كمية الماء بالجسم، وكذلك أيضا على تغيير اتجاه الماء عبر الغشاء الخلوى. وذلك من خلال تغير تركيزات هذين الأيونين الذين يؤثران فى القوى الأسموزية على جانبى الغشاء الخلوى.

هذا ويمكن تلخيص أهمية الماء للجسم فيما يأتى :

١ـ يدخل الماء فى تركيب خلايا وأنسجة وأعضاء الجسم.

٢ـ يدخل الماء فى تركيب العصارات الهاضمة للطعام كاللعاب والعصارة المعدية ويدخل أيضا فى تكوين الدموع.

٣ـ يساعد على حفظ حرارة الجسم ثابتة، وذلك لأن الحرارة اللازمة لتبخر الماء عالية. لذا فإن تبخر كمية قليلة من الماء يصحبه امتصاص كمية كبيرة من الحرارة وبالتالى تنخفض حرارة الجسم.

٤ـ السعة الحرارية للماء عالية. لذا فإن الحرارة الناتجة من التفاعلات الكيميائية لاتؤثر فى حرارة الجسم وذلك لقدرة الماء على امتصاص كمية كبيرة من هذه الحرارة.

٥ـ نظراً لتوصيل الماء الجيد للحرارة فإنه يعمل على مجانسة حرارة الجسم.

٦ـ يعمل على نقل المواد الاخراجية من أنسجة الجسم إلى خارجه على هيئة بول أو عرق. كما يسهل خروج الفضلات الصلبة (البراز) إلى الخارج.

٧ـ التفاعلات الكيميائية داخل الجسم لاتتم إلا فى وسط مائى. لذا لايتم هضم الغذاء إلا فى وجود الماء.

٨ـ يعمل الماء على تأين الأملاح المعدنية، وبالتالى يسهل امتصاص الجسم لها.

٢ـ الأملاح المعدنية *Mineral Salts*

تكون الأملاح المعدنية ما يقارب ١ ٪ من محتوى البروتوبلازم. وهى توجد على حالة متأينة. وبذلك تكسب بروتوبلازم الخلية النشاط الكيميائى والفيزيائى. وهى تشتمل على الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والفوسفور والحديد والماغنسيوم، وهذه يحتاجها الجسم بكميات كبيرة. وتشتمل أيضا على أملاح يحتاجها الجسم بكميات قليلة كاليود والنحاس والزنك والكوبلت والخارصين والمنجنيز.

وللأملاح المعدنية أهمية يمكن ايجازها فى النقاط التالية :

١ـ تلعب الأملاح المعدنية جميعها خاصة أملاح الصوديوم والبوتاسيوم دوراً هاماً فى تنظيم الضغط الأسموزى لسوائل الجسم.

٢ـ تؤثر أيونات الأملاح المعدنية فى فعالية الإنزيمات ونشاطها.

٣ـ تؤثر أيونات الأملاح المعدنية فى الاتزان الحامضى القاعدى.

٤ـ الكالسيوم والفوسفور يدخلان فى تركيب العظام والأسنان.

٥ـ الكالسيوم يدخل فى تكوين الجلطة الدموية، ويلعب دوراً بالغاً فى أداء أعصاب العضلات.

٦ـ للحديد دور رئيسى فى تركيب هيموجلوبين الدم.

٧ـ للصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم أهمية فى تنظيم عمل الجهاز العصبى والقلب.

٨ـ اليود يدخل فى تركيب هرمون الثيروكسين. كما يدخل الخارصين فى تركيب هرمون الإنسولين.

وفيما يلى سنتناول أهمية هذه الأملاح بالتفصيل :

أ ـ الكالسيوم *Calcium*

يوجد الكالسيوم في الجسم بكميات كبيرة أغلبها فى العظام والأسنان، والقليل منها في سوائل الجسم. ولأيون الكالسيوم دور مهم فى عملية تجلط الدم وفى أداء القلب والأعصاب والعضلات. وأهم مصادره الغذائية اللبن والجبن وصفار البيض والفول والعدس والمكسرات والتين والكرنب.

ويؤثر فى امتصاص الكالسيوم فى الأمعاء عدة عوامل منها وجود حامض الفايتك Phytic Acid فى الحبوب، إذ يؤدى ذلك إلى تكوين فايتات الكالسيوم غير الذائبة فى الأمعاء. كما أن للأكسالات الموجودة فى الطعام (كالسبانخ مثلا) تأثير مماثل. ويمتص الكالسيوم فى وسط حامضى. أما فى الوسط القاعدى فيقل امتصاصه. كما أن نسبة الكالسيوم إلى الفوسفور إذا كانت أعلى من النسبة الطبيعية (٢:١) تتكون فوسفات الكالسيوم $Ca_3(PO_4)_2$ ويتوقف الامتصاص. وإذا ضعف امتصاص الأحماض الدهنية فإنها تبقى فى الأمعاء وتميل إلى تكوين الصابون الكالسيومى غير الذائب ويقل الامتصاص تبعاً لذلك. ويشجع وجود ڤيتامين D امتصاص الكالسيوم من الأمعاء.

ويؤدى نقص الكالسيوم فى البلازما إلى حدوث مرض التتانوس. ويسبب نقص نسبة الكالسيوم إلى الفوسفور فى الدم حدوث مرض الكساح. وتعمل اعادة امتصاص الفوسفور كما فى حالة مرضى الكلى على نقص كمية الكالسيوم فى البلازما. ويتأثر أيض أيون الكالسيوم بهرمون الغدد جارات الدرقية. فعند زيادة افراز هذا الهرمون يرتفع تركيز الكالسيوم فى الدم Hypercalcemia ويقل تركيز الفوسفات. وعند نقص افراز هذا الهرمون يقل تركيز الكالسيوم فى الدم ويزيد تركيز الفوسفات.

ب ـ الفوسفور *Phosphorus*

يوجد الفوسفور فى كل خلايا الجسم، ويتحد أغلبه بالكالسيوم لتكوين العظام والأسنان. ويرتبط جزء يسير منه بالبروتينات والليبيدات والكربوهيدرات.

وتكمن أهمية الفوسفور فى دخوله فى تكوين مركبات الطاقة فى الجسم مثل أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP . وأى تناول للكالسيوم يعنى تناولاً للفوسفور أيضاً. لذا يرتبط أيض الفوسفور بأيض الكالسيوم، ويجب أن تبقى نسبة الفوسفور إلى الكالسيوم ثابتة وهى ١ : ١ . وإذا زاد تناول أحدهما يرتفع معدل تخلص الجسم منه. وتقل قيمة الفوسفور عند مرضى الكساح وفى حالة ازدياد تركيز هرمون الغدد جارات الدرقية. وتزيد قيمته عند مرضى السكر وفى حالة انخفاض تركيز هرمون الغدد جارات الدرقية.

جـ - الصوديوم *Sodium*

يرافق وجود هذا العنصر وجود كميات كبيرة من أيونات الكلوريد والبيكربونات وذلك لتنظيم الاتزان الحامضى القاعدى. كما يعمل الصوديوم على حفظ الضغط الأسموزى لسوائل الجسم ومن ثم حماية الجسم من الفقد الزائد للسوائل. وللصوديوم أيضاً وظيفة هامة فى الحفاظ على الأداء الطبيعى للعضلات وعلى نفاذية الخلايا.

وملح الطعام كلوريد الصوديوم هو المصدر الرئيسى للصوديوم. ويتأثر أيض الصوديوم بالهرمونات الستيرويدية المفرزة من قبل الغدتين الكظريتين. وفى حالة نقص افراز هذه الهرمونات ينقص معدل الصوديوم فى البلازما، فيزيد بالتالى فى البول. وفى حالة أمراض الكلى المزمنة ينقص معدل الصوديوم كثيراً، خاصة إذا تزامن مع الحامضية Acidosis وذلك بسبب ضعف اعادة امتصاصه من قبل الأنيبوبات الكلوية وبسبب استعمال جزء منه فى عملية معادلة الحامضية.

وفى ظروف ارتفاع درجة الحرارة ومايتبعها من عرق غزير تفقد كمية من الصوديوم، مما يؤدى إلى حدوث الصداع وتشنج عضلات الأطراف والبطن والتبول اللإرادى والإسهال. ويعد نقص الصوديوم فى الدم Hyponaturemia علاقة مصاحبة لتشمع الكبد.

د ـ البوتاسيوم *Potassium*

لهذا العنصر تأثير على فاعلية العضلات، خاصة عضلة القلب. كما يلعب دوراً هاماً فى الاتزان الحامضى القاعدى وفى المحافظة، على الضغط الأسموزى. ويكثر وجوده فى اللحوم والفواكه.

ويسبب افراز هرمونات الغدتين الكظريتين زيادة فى افرازه. ويناط بالكليتين افراز أكبر قدر منه. وتزيد نسبته فى بلازما الدم فى حالات الفشل الكلوى والصدمات العصبية ونقص افراز هرمونات الغدتين الكظريتين الذى يؤدى إلى حدوث مرض إديسون. وتحدث الزيادة فى معدل البوتاسيوم فى الدم هبوطاً فى الجهاز العصبى المركزى وضعفاً فى الأطراف والعضلات التنفسية وقصوراً فى أداء القلب فتقل ضرباته. وتقل نسبة البوتاسيوم فى الدم فى حالات الإسهال وفى حالات القلوية الناجمة عن أيض المواد الغذائية.

هـ ـ اليــود *Iodine*

لايعرف لليود وظيفة تذكر سوى اشتراكه فى بناء هرمونات الغدة الدرقية.

و ـ الكلــور *Chlorine*

يوجد الكلور على هيئة أيون كلوريد Cl^-، وهو يرافق أيون الصوديوم دائماً. لذا فإن تناول الكلور أو اخراجه لاينفصل عن تناول الصوديوم أو اخراجه. ويرتبط الاضطراب فى أيض الصوديوم باضطراب فى أيض الكلور، فعندما يفقد الصوديوم بكميات كبيرة كما فى حالات الاسهال والتعرق الشديد والاضطراب الهرمونى يفقد الكلور أيضاً بنفس القدر. والكلور عامل رئيسى فى اتزان الماء وتنظيم الضغط الأسموزى والاتزان الحامضى القاعدى، وله أهمية خاصة فى افراز المعدة حيث يدخل فى انتاج حامض الهيدروكلوريك HCl .

ز- الحديد *Iron*

ينحصر دور الحديد فسيولوجياً فى عملية التنفس الخلوى. كما يساهم أيضا فى بناء الهيموجلوبين والسيتوكروم وعدد من الإنزيمات مثل الكاتليز Catalase والبيراكسيديز Peroxidase. وأفضل مصادره الغذائية الكبد والقلب والكلى والطحال وصفار البيض والقمح والسمك والتمور والتين والبقول والسبانخ. ويوجد الحديد فى الطعام على حاله ثلاثية Fe^{3+}، إما على شكل هيدروكسيد أو على شكل مركبات عضوية. ويتم اختزال الحديد الثلاثى إلى الحديد الثنائى فى المعدة بواسطة حامض الهيدروكلوريك HCl وبمساعدة الأحماض العضوية الموجودة فى الطعام. فيصبح الحديد أكثر ذائبية وأفضل قابلية للامتصاص. ويعيق حامض الفايتيك (الموجود فى الحبوب) وحامض التانيك (الموجود فى الشاى والقهوة) والأكسالات (من مصادر مختلفة) امتصاص الحديد.

وتقوم الأمعاء بتنظيم امتصاص الحديد. لذا فإن الحديد الثنائى يتحول فى الغشاء المخاطى المبطن للأمعاء إلى حديد ثلاثى يتفاعل مع بروتين ذى وزن جزيئى عال يسمى أبوفيريتين Apoferritin مكوناً بروتيناً حاوياً للحديد يسمى فيريتين Ferritin. ويخزن فى خلايا الجسم (الكبد والطحال ونخاع العظام) كاحتياطى على صورة فريتين الحديد $(Fe^{3+})_n$-Ferritin. ويعد الأبو فيريتين Apoferritin هو عامل ضبط لامتصاص الحديد. إذ يوجد فى الغشاء المخاطى للأمعاء بكمية قليلة وله قدرة على الارتباط بالحديد. وتحدد هذه القدرة الكمية الممتصة من الحديد. فعندما يتشبع الأبوفيريتين بالحديد يتوقف امتصاصه من الأمعاء ويتوقف تكون الفيريتين.

وعندما تبرز الحاجة للحديد فى البلازما فإنه ينطلق من الفيريتين الذى يقوم بخزنه ويختزل من صورته الثلاثية إلى صورته الثنائية ويغادر جدار الأمعاء إلى

الدم ليتأكسد بفعل انزيم السيروبلازمين Ceruplasmin إلى الصورة الثلاثية ويتحد مع بروتين سكرى ذى وزن جزيئى عال يسمى ترنسفيرين Transferrin أو سيدروفيلين Siderophilin . والجزئ الواحد من هذا البروتين المختص بربط الحديد يستطيع أن يرتبط مع ذرتين من الحديد الثلاثى ليكون مركباً معقداً هو ترنسفيرين – Fe_2^{3+} Fe_2^{3+} – Transferrin . ويقوم نخاع العظام والكبد بتخزين هذا المركب المحتوى على الحديد، حيث تقوم خلايا خاصة هى Reticulocytes مع خلايا الدم الحمراء بالتقاط أيونات الحديد الثلاثى من هذا المركب لاستعمالها فى صنع الهيموجلوبين.

ويعتبر الفيريتين المخزون فى الكبد والطحال ونخاع العظام والغشاء المخاطى للأمعاء هو مستودع الحديد الرئيسى. فإذا ما دخل الحديد إلى الجسم بكميات أكبر من قدرة الأبوفيريتين على استيعابها فإن الجسم يعجز عن تحويل هذه الكمية الزائدة من الحديد إلى فيريتين. ويتراكم الحديد الزائد فى الكبد على شكل حبيبات مجهرية تسمى هيموسيدرين Hemosiderin . وهذا المركب هو أحد أشكال أكسيد الحديد الغروى المرتبط مع البروتين.

ويتحدد معدل الحديد فى البلازما كمحصلة لعدد من العوامل هى: معدل تكسير الهيموجلوبين ومخزون نخاع العظام وخلايا الدم الحمراء من الحديد ومعدل امتصاص الحديد من الأمعاء ومعدل تكون الترنسفيرين وتكسره.

الفصل الرابع

الهضـــــم

Digestion

الفصل الرابـــع

الهضـــــم

مفهوم الهضم

يعرف الهضم Digestion بأنه تكسير الطعام وتحويله من مواد معقدة إلى مواد بسيطة يسهل امتصاصها والاستفادة منها، وبمعنى أوضح هو تكسير الكربوهيدرات إلى جلوكوز والبروتينات إلى أحماض أمينية والدهون إلى أحماض دهنية. والجزء الذى يصعب هضمه وامتصاصه يطرد خارج الجسم على صورة براز. وتجرى هذه العمليات فى الجهاز الهضمى وبواسطة عوامل مساعدة حيوية ذات تراكيب بروتينية عالية التخصص تسمى إنزيمات.

مراحل الهضم

تتم عملية الهضم على ثلاث مراحل، تجرى كل مرحلة منها فى منطقة رئيسية من الجهاز الهضمى. ولكل منطقة من تلك وسط هاضم خاص وعصارات مميزة.

أولا ـ الفم *Mouth*

يتم الهضم فى الفم على الكربوهيدرات أساسًا بفضل وجود الغدد اللعابية التى تفرز فى الفم عصارة تسمى اللعاب Saliva ، تحتوى على أنزيمين هامين

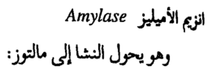
هما: الأميليز (البتيالين) Amylase (Ptyalin) والمالتيز Maltase بالإضافة إلى مواد أخرى كالميوسين وبيكربونات الصوديوم. والوسط فى الفم متعادل تقريباً (pH = 7.1) ، إلا أنه يميل قليلاً نحو الحامضية (pH = 6.6) لوجود ثانى أكسيد الكربون.

والغدد اللعابية فى الانسان ثلاثة أزواج هى النكفية وتحت الفكية وتحت اللسانية. وتقدر كمية اللعاب الذى تفرزه الغدد اللعابية فى الانسان بحوالى ١٫٥ لتر يومياً. ويزداد افراز اللعاب نتيجة لفعل انعكاسى تنبيهى بمجرد دخول الطعام إلى الفم أو نتيجة لفعل منعكس نفسى عند مشاهدة الطعام أو شم رائحته أو حتى مجرد التفكير فيه، وكذلك بفعل إثارة العصب الحائر نظير السمبتاوى بينما تقلل إثارة العصب السمبتاوى من افراز اللعاب.

وللعاب وظائف عديدة أهمها :

١ـ ترطيب الكتلة الغذائية لتسهيل عملية مضغها وبلعها.
٢ـ المساعدة على انزلاق الكتلة الغذائية إلى البلعوم فالمرئ.
٣ـ تنظيف الأسنان وتطهيرها من الجراثيم.
٤ـ تحويل النشا إلى مالتوز بفعل إنزيم الأميليز، ثم تكسير المالتوز إلى جلوكوز بفعل إنزيم المالتيز.

وجدير بالذكر أن إنزيم الأميليز اللعابى يعمل فقط على النشا المطبوخ لأن النشا الخام أو غير المطبوخ تغلف حبيباته أغلفة سيليلوزية يصعب على هذا الإنزيم أن يعمل عليها. ولايعد دور الأميليز اللعابى مهماً لأن الأميليز البنكرياسى فى الأمعاء يمكنه أن يقوم بنفس الدور، كما أن حامض الهيدروكلوريك فى المعدة يمنع فعل الأميليز اللعابى خلال نصف ساعة من عملية البلع.



انزيم الأميليز *Amylase*

وهو يحول النشا إلى مالتوز:

Starch ⟶	Soluble Starch ⟶	Erythrodextrin ⟶	Achrodextrin
نشا	نشا ذائب	إريثرودكسترين	إرثرودكسترين
	(أزرق مع اليـود)	(أحمر مع اليـود)	(عديم اللون مع اليود)

↓

Maltose

مالتوز

(عديم اللون مع اليود)

انزيم المالتيز *Maltase*

وهو يحول المالتوز إلى جلوكوز:

Maltose	⟶	2 Glucose
مالتوز		جلوكوز (جزيئان)

وللفم دور آخر فى هضم الدهون ينبغى الإشارة إليه. ويتم ذلك بواسطة إنزيم الليبيز اللسانى Lingual Lipase الذى يفرز من غدد فى اللسان. ويقوم هذا الإنزيم بتكسير الروابط الإسترية فى جزيئات الدهون وتحرير الأحماض الدهنية. ويأتى تكسيره للرابطة الإسترية عند الموقع الثالث. ويزداد التفاعل سرعة إذا كان الحامض الدهنى فى ذلك الموقع قصير السلسلة. لذا فإن لهذا الإنزيم أهمية خاصة فى هضم دهون اللبن ومشتقاته.

وعلى الرغم من هضم الدهون فى الفم إلا أن قصر المدة التى يمكثها الطعام فى الفم لايجعل لذلك الهضم فى الفم أهمية تذكر. بيد أن المقاومة التى يتمتع بها هذا الإنزيم نحو الحموضة العالية تجعل من الممكن للطعام الذى يمكث فى المعدة بين ساعتين إلى أربع ساعات فى العادة، أن يهضم جزئياً.

ثانيا ـ المعدة *Stomach*

تفرز المعدة عصارة تسمى العصارة المعدية Gastric Juice، يبلغ قدرها فى الانسان حوالى ثلاثة لترات يومياً، وتتكون من انزيمين هامين هما الببسين Pepsin والرنين Rennin، بالإضافة إلى حامض الهيدروكلوريك Hydrochloric Acid. لذا فالوسط فى المعدة حامضى. ويجرى الهضم فيها على البروتينات فقط. ولا يغفل ما للمعدة من دور فى المساعدة على هضم الدهون، إذ يتحول معظم الدهون الصلبة بفضل حرارة المعدة إلى الحالة السائلة. كما تؤدى حركة المعدة من خلال تقلصاتها المتتابعة إلى مزج الدهون مع الماء على شكل مستحلب تساعد على تكونه أيضاً الأحماض الدهنية التى تحررت بفعل إنزيم الليبيز اللسانى.

وتتلخص أهمية المعدة فى عملية الهضم فى أنها تعمل على نقل الطعام إلى الأمعاء فى صورة كتلة متجانسة شبه سائلة تعرف بالكيموس Chyme . وخلال عملية الهضم ينقبض جدارها العضلى باستمرار لخلط العصارة المعدية بالطعام ولدفع الكيموس فى اتجاه الأمعاء. ويحرس مدخل الأمعاء عضلة عاصرة قوية Sphincter Muscle لا تفتح إلا بعد انتهاء عملية الهضم فى المعدة.

وثمة عوامل تؤثر فى حركة المعدة وافرازها ، تتلخص فيما يلى :

١ ـ **كمية الطعام فى المعدة** : كلما امتلأت المعدة بالطعام زادت حركتها ومن ثم زاد افرازها. لكن إذا زادت كمية الطعام فى المعدة كثيراً توقفت حركتها وتوقف افرازها.

٢ ـ **العواطف** : يزيد القلق والعصبية من حركة المعدة كثيراً مما يترتب عليها زيادة بالغة فى الافراز قد تؤدى إلى حدوث القرحة المعدية. أما الخوف والألم والاجهاد والصدمات العصبية فتقلل كلها من حركة المعدة وافرازها.

٣ـ المواد الكيميائية: بعض المواد كالكحول والإنسولين والقهوة تزيد من حركة المعدة وافرازها. وعلى العكس تعمل مواد أخرى كالأتروبين والتدخين ونقص ڤيتامين B_1.

ويتم التحكم فى افراز المعدة لعصارتها من خلال آليتين، عصبية وهرمونية:

آلية عصبية: وهى ترتبط بالفعل الانعكاسى. إذ يثير وجود الطعام فى الفم العصب الحائر الذى ينبه المعدة لزيادة افرازها. كما أن مجرد التفكير فى الطعام يحدث نفس التأثير.

آلية هرمونية: عندما يدخل الطعام إلى المعدة ويصبح على اتصال بالغشاء المخاطى للفتحة الخلفية (البوابية) للمعدة فإنها تفرز هرموناً يسمى جاسترين Gastrin يمتصه الدم على الفور. وعندما يعود إلى المعدة فإنه يحفزها للافراز.

انزيم الببسين *Pepsin*

يفرز هذا الإنزيم على شكل غير فعال يسمى الببسينوجين Pepsinogen. ويعمل حامض الهيدروكلوريك على تحويله إلى الشكل الفعال الببسين Pepsin. والعلة فى ذلك هى الحيلولة دون قيام هذا الإنزيم أو الإنزيمات الأخرى التى تفرز على شكل غير فعال كإنزيمى البنكرياس (التربسين والكيموتربسين) بهضم البروتينات فى الخلايا التى تنتجها.

ويعمل إنزيم الببسين على تحويل البروتين إلى مواد أبسط تركيباً هى البروتيوزات والببتونات:

Protein ⟶ Proteoses + Peptones

بروتين ⟶ بروتيوزات + ببتونات

إنزيم الرنين (مخثر اللبن) *Rennin*

لا يوجد هذا الإنزيم إلا فى معد الحيوانات الثديية الصغيرة والأطفال. وهو

يحـول الكازين (بروتين اللبن الذائب) إلى باراكـازين (بروتين اللبن غيـر الذائب) :

Casein (Soluble Milk Protein)	$+ Ca^{2+}$ ⟶	Ca Paracaseinate (Insoluble Milk Protein)
كازين (بروتين اللبن الذائب)		باراكازينات الكالسيوم (بروتين اللبن غير الذائب)

ثم يأتى إنزيم الببسين فيحول الباراكازين (بروتين اللبن غير الذائب) إلى بيتونات وهى الصورة قبل النهائية لهضم البروتينات. وفى الكبار حيث لايوجد إنزيم الرنين يقوم إنزيم الببسين بتخثير اللبن وهضمه معاً.

هذا ويمكن تحضير إنزيم الرنين من معد الحيوانات الثديية الصغيرة كالعجول لكى يستخدم فى صناعة الأجبان.

حامض الهيدروكلوريك *Hydrochloric Acid (HCl)*

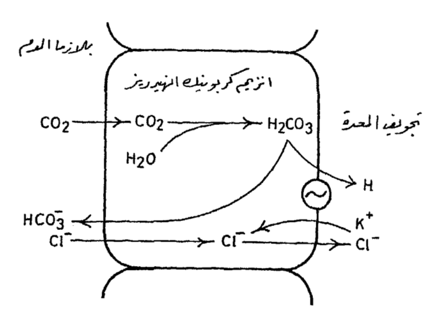
يتكون حامض الهيدروكلوريك فى الخلايا الحامضية للمعدة من تفاعل ثانى أكسيد الكربون مع الماء فينتج حامض الكربونيك الذى يتأين إلى أيونات البيكروبونات والهيدروجين. ويعبر أيون البيكربونات إلى بلازما الدم بينما يفرز أيون الهيدروجين إلى المعدة مع أيون الكلوريد، كما هو موضح فى شكل (٥).

ويتلخص دور حامض الهيدروكلوريك فى أنه :

١ـ يهيىء الوسط الحامضى المناسب لعمل إنزيمات العصارة المعدية.

٢ـ يعمل على تنشيط إنزيم الببسين من صورته غير الفعالة التى يفرز عليها (الببسينوجين) إلى صورته الفعالة (الببسين).

٣ـ يطهر الطعام من الميكروبات التى قد توجد به.



شكل (٥)
آلية افراز حامض الهيدروكلوريك
من الخلايا الحامضية فى المعدة

ثالثا ـ الأمعاء الدقيقة *Small Intestine*

يتم الهضم فى الأمعاء الدقيقة على الدهون أساساً ثم على ما تبقى مما لم يتم هضمه من كربوهيدرات فى الفم وبروتين فى المعدة. والوسط فى الأمعاء الدقيقة قلوى نتيجة لافراز بيكربونات الصوديوم من جدارها ومع العصارة البنكرياسية أيضاً. ويجرى الهضم فى الأمعاء الدقيقة بفعل ثلاث عصارات هى: الصفراوية والبنكرياسية والمعوية.

١ـ العصارة الصفراوية *Bile*

يلعب الكبد دوراً مهماً وأساسياً فى هضم الدهون وامتصاصها من خلال افرازه المستمر لعصارة الصفراء التى تختزن فى الحوصلة المرارية. وحينما تمر محتويات المعدة إلى الأثنى عشر تتنبه خلاياه بفعل الحموضة العالية للطعام القادم من المعدة. فتفرز هرموناً يسمى كولى سيستوكينين ـ بنكريوزيمين Cholycystokinin-Pancreozymin، ويطلق عليه اختصاراً C-CK-PZ . وينتقل

هذا الهرمون عن طريق الدم إلى المرارة فيحثها على التقلص وإفراغ محتوياتها من العصارة. وتمتزج عصارة الصفراء مع عصارة البنكرياس لتدخلا معاً إلى الأمعاء الدقيقة.

وتتألف العصارة الصفراوية من أملاح الصفراء Bile Salts (تاوروكولات الصوديوم Soduim Taurocholate وجليكوكولات الصوديوم Soduim Glycocholate) وأصباغ الصفراء Bile Pigments (بيليروبين Bilirubin وبيليڤردين Biliverdin)، بالإضافة إلى الماء والكوليستيرول وبيكربونات الصوديوم ومكونات أخرى. ويبلغ حجم العصارة الصفراوية التى تصبها المرارة يومياً عند الانسان البالغ حوالى ٦٠٠ سم٣، يشكل الماء منها ٨٦٪ وأملاح الصفراء ٩٪ وأصباغ الصفراء ٣٪. أما الباقى فهو من الكوليستيرول والأملاح غير العضوية.

ومما يجدر الإشارة إليه أن صبغ البيليروبين هو الذى يعطى براز الانسان لونه الأصفر البنى، بينما يعطى صبغ البيليڤردين اللون الأخضر لروث البهائم. والصبغان هما من نواتج تكسير الهيموجلوبين فى خلايا الدم الحمراء بعد انقضاء حياتها. وعندما تزيد كمية صبغ البيليروبين فى البلازما فإن هذا الصبغ يتراكم فى الأنسجة محدثاً اصفرار الجلد، ويسمى المرض باليرقان Jaundice.

ويتم التحكم فى افراز الصفراء من خلال آليتين عصبية وهرمونية. فإثارة العصب الحائر وزيادة هرمون السكرتين يزيدان من تصنيع الصفراء من الكبد، ويسمى مثل هذين المؤثرين بمحفزات صنع الصفراء Choleretic. بينما يزيد هرمون الكولى سيستوكينين بنكريوزيمين Cholycystokinin-Pancreozymin مع وجود الدهون فى الأمعاء وأيونات الكالسيوم ونواتج هضم البروتين من تقلصات الحوصلة الصفراوية فتفرز الصفراء، وتسمى هذه بمدرات الصفراء Cholagogues.

وإذا أزيلت الحوصلة الصفراوية من شخص فإنه يبقى بصحة جيدة وحالة

غذائية طيبة. إذ أن الحوصلة الصفراوية غير أساسية فهى لاتعدو سوى مخزن للعصارة الصفراوية. ولكن يبقى على مثل هذا الشخص تجنب تناول الدهون.

وعلى الرغم من ذلك فلعصارة الصفراء وظائف متعددة هي :

- معادلة حموضة الكيموس Chyme القادم من المعدة، وذلك بفضل احتواء عصارة الصفراء وعصارة البنكرياس أيضا على بيكربونات الصوديوم. والكيموس هو السائل اللزج المكون من الطعام المهضوم جزئيًا فى المعدة. وهو شديد الحموضة لاحتوائه على حامض الهيدروكلوريك، إذ تبلغ حموضته ٢ . وهذه الحموضة غير مناسبة لعمل الإنزيمات التى تكمل عملية الهضم فى الأمعاء. فعصارة الصفراء وعصارة البنكرياس وكلاهما قلوى التفاعل يعادلان درجة حموضة الكيموس القادم من المعدة إلى الأمعاء. مما يهيىء وسط الأمعاء لعمل إنزيمات البنكرياسية والمعوية.
- استحلاب الدهون Fat Emulsification، أى تحويل الدهون إلى مستحلب يسهل هضمه بواسطة إنزيم الليبيز البنكرياسي. ويعود الفضل فى ذلك إلى أملاح الصفراء التى تعمل على تقليل التوتر السطحى للدهون، فتكسر حبيبات الدهن الكبيرة إلى حبيبات أصغر فأصغر.
- امتصاص الدهون والمواد الذائبة فيها كالفيتامينات والكاروتينات، ويتم ذلك بمساعدة أملاح الصفراء التى تتحد مع الدهون أو المواد الذائبة فيها لتكون مركبات سهلة الامتصاص فى خلايا الأمعاء. وبعد أن يتم الامتصاص تترك أملاح الصفراء الاحماض الدهنية فى الدم وتذهب إلى الكبد حيث تفرز ثانية ضمن العصارة الصفراوية.
- تعتبر عصارة الصفراء هى الطريق الطبيعى للتخلص من كثير من الأدوية والسموم والعناصر المعدنية كالنحاس والخارصين والزئبق وكذلك الأصباغ الصفراوية (البيليروبين والبيليفردين) التى تصنعها خلايا الكبد من نواتج تكسير جزئ الهيموجلوبين.

ـ افراز الكوليستيرول وأملاح الصفراء التى تصنع منه فى خلايا الكبد نفسها. إذ لايملك الجسم أية آلية لتحطيم جزئ الكوليستيرول. والطريقة الوحيدة للتخلص من الكوليستيرول الفائض عن حاجة الجسم هى افرازه عن طريق عصارة الصفراء كما هو أو بعد تحويله إلى أملاح الصفراء. ومن المهم أن يكون تركيز كل من كوليسترول الصفراء وأملاح الصفراء مناسباً. إذ أن اختلال النسب بينهما يؤدى إلى ترسيب الكوليستيرول على شكل بللورات تتحول فيما بعد إلى حصوات تسمى حصوات المرارة Gall Stones.

٢ـ العصارة البنكرياسية *Pancreatic Juice*

تفرز العصارة البنكرياسية بواسطة البنكرياس. وهى تحتوى على خمسة إنزيمات، يؤثر واحد منها على الكربوهيدرات وثلاثة على البروتينات وواحد على الدهون.

إنزيم الأميليز البنكرياسى *Pancreatic Amylase*

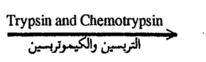
وهو يقوم بهضم الكربوهيدرات التى لم تهضم بإنزيم الأميليز اللعابى، فيحولها إلى المالتوز (سكر ثنائى) :

$$\text{Starch (نشا)} \xrightarrow[\text{الأميليز البنكرياسي}]{\text{Pancreatic Amylase}} \text{Maltose (مالتوز)}$$

التربسين *Trypsin* **والكيموتربسين** *Chemotrypsin*

وهما يفرزان فى صورة غير فعالة تربسينوجين Trypsinogen وكيموتربسينوجين Chemotrypsinogen. ويتحولان إلى صورتهما الفعالة تربسين وكيموتربسين (على الترتيب) بواسطة انزيم الإنتروكينيز Entrokinase الذى يفرز من جدار الإثنى عشر. ويعمل هذان الإنزيمان على البروتين الذى لم يتأثر فى المعدة بانزيم الببسين أو الذى تأثر به فهضم إلى بروتيوزات وببتونات، فيحولان كل ذلك إلى عديد الببتيد :

Protein, Proteoses and Peptones
بروتين وبروتيوزات وببتونات



Polypeptides
عديد الببتيد

كربوكسى الببتيديز *Carboxy Peptidase*

ويعمل هذا الإنزيم على عديد الببتيد فيفصل منه الأحماض الأمينية الطرفية التى لها مجموعة كربوكسيل حرة (طرفية) ويحوله فى النهاية إلى ثنائى الببتيد:

Polypeptides —— Carboxy Peptidase / كربوكسى الببتيديز ——→ Dipeptides
عديد الببتيد —— ثنائى الببتيد

إنزيم الليبيز البنكرياسى *Pancreatic Lipase*

وهو يقوم بهضم الدهون وتحويلها إلى أحماض دهنية وجليسرول، وذلك من خلال فك الرابطة الإسترية بينها. فهو يعمل على سطح التماس بين قطيرات الزيت والماء التى توجد على شكل مستحلب دهنى ساعدت على تكونه عملية التقليب الناتجة عن تقلص المعدة والأمعاء. كما تشارك فى ذلك أملاح الصفراء والدهون المهضومة جزئياً بواسطة الليبيز اللسانى. ويفرز البنكرياس بروتيناً خاصاً ضرورياً لعمل الليبيز البنكرياسى يسمى مساعد الليبيز Colipase يساعد على ارتباطه مع قطيرات الدهون:

Fat Emulsion —— Pancreatic Lipase / الليبيز البنكرياسى ——→ Fatty Acids + Glycerol
مستحلب دهنى —— أحماض دهنية —— جليسرول

والأحماض الدهنية والجليسرول هما الناتجان النهائيان لهضم الدهون

٣ـ العصارة المعوية *Intestinal Juice*

تفرز العصارة المعوية من غدد أنبوبية فى الطبقة المخاطية لجدار الأمعاء الدقيقة تسمى بكهوف ليبركين Crypts of Lieberkuhn. وهى عصارة قلوية تحتوى على خمسة أنواع من الإنزيمات، يؤثر ثلاثة منها على الكربوهيدرات، وواحد على البروتينات، وواحد على الدهون:

المالتــــــــيز *Maltase*

وهو يعمل على تكسير جزئ المالتوز إلى جزيئين من الجلوكوز :

Maltose	$\xrightarrow[\text{المالتيز}]{\text{Maltase}}$	Glucose	+	Glucose
جلوكوز		جلوكوز		جلوكوز

السكـــــريز *Sucrase*

وهو يعمل على تكسير جزئ السكروز إلى جزئ جلوكوز وجزئ فركتوز:

Sucrose	$\xrightarrow[\text{السكريز}]{\text{Sucrase}}$	Glucose	+	Fructose
سكروز		جلوكوز		فركتوز

اللاكـــــتيز *Lactase*

وهو يعمل على تكسير جزئ اللاكتوز إلى جزئ جلوكوز وجزئ جلاكتوز :

Lactose	$\xrightarrow[\text{اللاكتيز}]{\text{Lactase}}$	Glucose	+	Galactose
لاكتوز		جلوكوز		جالاكتوز

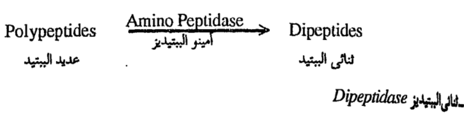
والجلوكوز والفركتوز والجلاكتوز هم النواتج النهائية لهضم الكربوهيدرات.

الإربســـــين *Erepsin*

ويعد هذا الإنزيم خليطا من إنزيمين هامين هما أمينو الببتيديز Amino Peptidase وثنائى الببتيديز Dipeptidase.

أمينو الببتيـــديز *Amino Peptidase*

وهو يفصل الأحماض الأمينية التى تحتوى على مجموعة أمين حرة فى نهايات سلاسل عديد الببتيد فيحولها إلى ثنائى الببتيد :



ـ ثنائى الببتيديز *Dipeptidase*

وهو يحول ثنائى الببتيد إلى أحماض أمينية :

Dipeptides —Dipeptidase (ثنائى الببتيديز)→ Amino Acids

ثنائى الببتيد ← أحماض أمينية

والأحماض الأمينية هى الناتج النهائى لهضم البروتين.

الليبيز المعوى *Intestinal Lipase*

ويكمل هذا الإنزيم هضم الدهون التى لم يستطع الليبيز البنكرياسى Pancreatic Lipase هضمها تماماً. والأحماض الدهنية والجليسرول هما الناتجان النهائيان لهضم الدهون.

دور الهرمونات فى عملية الهضم

للهرمونات دور هام فى افراز الإنزيمات الهاضمة وفى تنشيط عمليات الهضم. وأهم هرمونات الجهاز الهضمى هى :

١ـ هرمون الجاسترين *Gastrin*

وهو يعمل على زيادة افراز الكلور وإنزيم الببسين. ويفرز من المعدة ومن مخاطية الإثنى عشر. ويزداد افرازه بإثارة العصب الحائر أو بفعل وجبة غنية بالبروتين وبارتفاع معدل أيونات الكالسيوم والأدرينالين فى الدم بينما ينخفض افرازه بفعل الكلور بواسطة التغذية العكسية السالبة Negative Feed Back.

٢ـ هرمون الكولى سيستوكينين ـ بنكريوزيمين

Cholycystokinin - Pancreozymin C-CK-PZ

لهذا الهرمون الذى يفرز من مخاطية الإثنى عشر تأثير على الحوصلة الصفراوية وعلى البنكرياس، كما يعمل على تنشيط المعدة وإفراغها لمحتوياتها. وهو يعمل بالتعاون مع هرمون السكرتين الذى يفرز أيضاً من مخاطية الإثنى عشر على انقباض العضلة البوابية العاصرة فيمنع عودة الطعام من الإثنى عشر إلى المعدة. وقد كان يظن فى الماضى وجود هرمونين أحدهما كولى سيستوكينين يؤثر على الحويصلة الصفراوية فتفرز عصارتها والآخر بنكريوزيمين يؤثر على البنكرياس فيفرز عصارته. لكن اتضح أن الطبقة المخاطية للإثنى عشر تفرز هرموناً واحداً هو الكولى سيستوكينين ـ بنكريوزيمين، وله التأثيران السابقان على الحوصلة الصفراوية وعلى البنكرياس.

٣ـ هرمون السكرتين *Secretin*

يزيد هذا الهرمون من افراز البيكربونات من البنكرياس والكبد ويثبط افراز الكلور من المعدة، وهو يفرز من الإثنى عشر أيضا.

٤ ـ هرمون الببتيد المثبط للمعدة *GIP*

يعمل هذا الهرمون على افراز الانسولين ويثبط حركة وافراز المعدة. وهو يفرز أيضا من الإثنى عشر.

٥ ـ هرمون الببتيد المنشط للأوعية الدموية *VAIP*

يعمل هذا الهرمون على زيادة افراز الأيونات المعدنية والماء من الأمعاء. ويعمل كذلك على توسيع الأوعية الدموية ويثبط افراز الكلور من المعدة. وهو يفرز أيضاً من الأثنى عشر.

الفصل الخامس

الامتصـــــــاص

Absorption

الفصل الخامس

الامتصاص

مفهوم الامتصاص

عند انتهاء عملية الهضم تتحول الكربوهيدرات إلى سكاكر أحادية والبروتينات إلى أحماض أمينية والدهون إلى أحماض دهنية وجليسرول. وتلك هى الصور أو الحالات التى تمتص عليها المواد الغذائية فى الأمعاء الدقيقة. وحين تصل المواد الغذائية الممتصة (الجلوكوز والأحماض الأمينية والأحماض الدهنية) إلى الدم تحدث مرحلة جديدة من التفاعلات الكيميائية داخل الجسم لكى تبنى الأنسجة الجديدة ولكى تنطلق الطاقة. وتسمى عملية نقل المواد المهضومة إلى الدم بالامتصاص Absorption .

مراحل الامتصاص

ينعدم الامتصاص فى الفم والمرئ. لكن فى المعدة قد يحدث امتصاص للماء والأملاح والكحول وبعض العقاقير. وفى الأمعاء الغليظة تمتص بعض الماء والأملاح. والمكان الطبيعى لامتصاص المواد المهضومة هو الأمعاء الدقيقة. إذ أنها مهيأة تشريحياً ووظيفياً لهذه العملية. فيتثنى سطحها إلى بروزات اصبعية الشكل تزيد من مساحة السطح الماص وتسمى خملات. وتحتوى كل خملة على ثلاثة أنواع من الشعيرات : شريانية ووريدية ولمفية.

وتمتص نواتج الهضم عبر طريقين فى الخملات هما :

١ـ السكاكر الأحادية والأحماض الأمينية والأملاح المعدنية تمتص عن طريق الشعيرات الوريدية فى الخملات ثم تمر عن طريق الوريد البابى إلى الكبد. أما المواد الدهنية فيتحلل منها نسبة ٣٦٪ فقط إلى أحماض دهنية وجليسرول. يمتصان عبر نفس الطريق فى الخملات.

٢ـ من المواد الدهنية تتبقى نسبة ٦٤٪ دون تحلل يمتص منها عن طريق الأوعية اللبنية فى الخملات نسبة ٦٣٪ كما هى على شكل حبيبات بعد تحولها إلى مستحلب. ثم تنتقل إلى الجهاز اللمفى ومنه إلى الدم. أما النسبة الضئيلة الباقية وهى ١٪ فتخرج مع البراز كما هى.

كيفية الامتصاص

يجرى امتصاص نواتج الهضم إلى الدم بإحدى وسيلتين : إما بالنقل غير النشط Passive Transport الذى يحدث من وسط عالى التركيز إلى وسط منخفض التركيز، أو بالنقل النشط Active Transport الذى يحدث باتجاه معاكس للتركيز أى من وسط منخفض التركيز إلى وسط عالى التركيز، ولذا فهو يحتاج إلى طاقة. ويمكن استعراض كيفية امتصاص المواد المهضومة حسب طريقة انتقالها إلى الدم كالآتى :

١ـ الكربوهيدرات

تمتص السكاكر الأحادية بطريقة النقل النشط، ماعدا الفركتوز والبنتوزات فتمتص بطريقة النقل غير النشط. ويعمل وجود أيونات الصوديوم فى الأمعاء على زيادة امتصاص السكر. ويتصف الناقل للجلوكوز بأنه بروتين ذو قدرة على الارتباط بالجلوكوز وأيون الصوديوم معاً. ويقوم الناقل بنقل الجلوكوز والصوديوم معاً إلى داخل الخلية. ويساعد فى ذلك الفرق فى تركيز أيون الصوديوم على

جانبى الغشاء الخلوى، إذ أن تركيزه فى الخلايا أقل منه فى خارجها، أى أن امتصاصه يتم بطريقة النقل غير النشط. لذا تنساب أيونات الصوديوم والجلوكوز معاً إلى داخل الخلايا. ومن الواضح أن استمرار نقل الجلوكوز إلى داخل الخلايا بواسطة هذا الناقل مرهون باستمرار وجود الفرق فى تركيز أيونات الصوديوم. وهنا يأتى دور إنزيم آخر يعرف بمضخة الصوديوم والبوتاسيوم Na^+, K^+ Pump أو Na^+, K^+, ATP'ase. وهو يوجد على الغشاء الخلوى، ويعمل على المحافظة على التركيز المنخفض للصوديوم فى داخلها، وذلك بضخ أيونات الصوديوم إلى خارج الخلايا، معتمداً فى ذلك على الطاقة الكيميائية فى جزئ أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP. ويمكن للجلاكتوز أن ينتقل أيضا بواسطة ناقل الجلوكوز نفسه، وذلك بسبب نقص أوجه التشابه فى بنائهما. ولايمكن لجزئ الفركتوز الذى لا يشابه بناؤه بناء الجلوكوز أن ينتقل بواسطة الناقل نفسه، بل يعتمد انتقاله على فرق التركيز، إذ أن تركيزه فى الدم منخفض أى يتم امتصاصه بطريقة النقل غير النشط.

٢ـ البروتينات

تمتص أغلب الأحماض الأمينية بطريقة النقل النشط فى وجود أيونات الصوديوم. لكن بعض الأحماض الأمينية كحامض الجلوتاميك تمتص بالنقل غير النشط.

٣ـ الدهون

تمتص الدهون بطريقة النقل غير النشط وبمساعدة أملاح الصفراء.

٤ـ الأيونات

يمتص الصوديوم بطريقة النقل النشط. ويساعد فى ذلك هرمون

الألدوستيرون Aldosteron الموجود فى الأمعاء الدقيقة وكذلك الجلوكوز. لذا يعطى المصاب بالإسهال محلول يحتوى على الصوديوم والجلوكوز. أما البوتاسيوم فيتم امتصاصه بطريقة النقل غير النشط، وأما الكلور والبيكربونات فيتم امتصاصهما بطريقة النقل النشط عن طريق التبادل فى الأمعاء الدقيقة والقولون. فامتصاص الكلور يؤدى إلى خروج البيكربونات إلى الأمعاء الدقيقة.

٥ـ الفيتامينات

يتم امتصاص الفيتامينات الذائبة فى الماء (B, C) بسرعة عن طريق النقل غير النشط. أما الفيتامينات الذائبة فى الدهون (A, D, E, K) فيعتمد امتصاصها على امتصاص الدهون. إذ فى حالة نقص إفراز عصارة الصفراء أو البنكرياس يقل امتصاص الدهون، وبالتالى ينخفض معدل امتصاص هذه الفيتامينات.

٦ـ المـــــاء

يتم امتصاص الماء بالنقل غير النشط، ويتوافق امتصاص الماء مع امتصاص الغذاء، إلا أن نسبة امتصاص الماء تزداد بعد دخول محتويات الأمعاء الدقيقة إلى الأمعاء الغليظة، مما يؤدى إلى تحول محتوى الأمعاء تدريجياً من القوام السائل إلى القوام الصلب.

أما ما يتبقى من المواد الغذائية فيمر إلى الأمعاء الغليظة، حيث يتم هناك امتصاص كميات كبيرة من الماء لحفظ معدل الماء فى الجسم ثابتاً، وبالتالى يتجنب الجسم الجفاف والتعرض للموت. وأما المواد غير المهضومة فتتجمع على شكل مواد صلبة تخضع لفعل البكتريا أثناء خزنها فى المستقيم، ثم تطرد خارج الجسم على هيئة براز.

الفصل السادس

الأيـض والطـاقـــة

Metabolism and Energy

الفصل السادس

الأيض والطاقــة

مفهوم الأيض

الأيض Metabolism أو مايطلق عليه أحيانًا التحول الغذائى هو مجموع التفاعلات الكيميائية التى تحدث فى الخلايا للمواد الغذائية. وللأيض غرضان رئيسيان، أولهما : الحصول على الطاقة التى تمكن الخلية من أداء وظائفها. ويتم ذلك من خلال تكسير نواتج هضم المواد الغذائية الممتصة، لإطلاق الطاقة الكامنة فى جزيئاتها، ويسمى هذا بالأيض الهدمى Catabolism. وثانيهما : صنع المركبات المختلفة الضرورية للخلية من المواد البسيطة التى تنتج عن هضم الغذاء، ويسمى هذا بالأيض البنائى Anabolism. ونادراً ما يتحقق هذان الهدفان أو أى منهما من خلال تفاعل كيميائى واحد. بل تنتج الطاقة من تفاعل وتصنع المركبات الضرورية من تفاعل تال. لكن تبقى العمليتان متكافئتين، ويظل الجسم فى حالة اتزان. وإذا زاد نشاط إحداهما عن الأخرى اختل توازنه.

انطلاق الطاقة

تخزن الطاقة الناتجة عن عمليات الأيض داخل الخلايا على شكل روابط كيميائية فى مركبات خاصة تطلق السعرات الحرارية عند الحاجة كما فى

الأنشطة الحيوية المختلفة كالنمو والبناء والحركة والتكاثر وغيرها. وأهم هذه المركبات الغنية بالطاقة هو أدينوسين ثلاثى الفوسفات Adenosine Triphosphate (ATP) الذى عندما يطلق السعرات الحرارية يتحول إلى أدينوسين ثنائى الفوسفات Adenosine Diphosphate (ADP). ثم تستعمل الطاقة المتوفرة لإعادة تحويل أدينوسين ثنائى الفوسفات ADP إلى أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP.

وتنطلق السعرات الحرارية من المركبات الغنية بالطاقة فى حالات القيام بالأنشطة الحيوية المختلفة كالحركة والنمو وبناء الأنسجة والتكاثر والعمل على استيفاء متطلبات الجسم من الأيض القاعدى Basal Metabolism. ويقصد بالأيض القاعدى احتياج الجسم من الطاقة فى حالة توقف النشاط العضلى، وذلك للحفاظ على حركة القلب والتنفس وباقى وظائف الجسم. ويقاس للشخص وهو يقظ وفى راحة تامة وبعد ١٢ ساعة على الأقل من الوجبة الأخيرة. وهو يقدر للفرد البالغ السليم بكالورى واحد كل ساعة لكل كيلوجرام من وزن الجسم. فإذا كان وزن الجسم لشخص ٧٠ كيلوجرام فإن الأيض القاعدى لهذا الشخص فى اليوم = ١ × ٧٠ × ٢٤ = ١٦٨٠ كالورى.

دور مركب أدينوسين ثلاثى الفوسفات فى تبادل الطاقة

يؤدى مركب أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP دور الوسيط فى عمليات تبادل الطاقة. وكما ذكر فإن هذا المركب يصنع من مركب آخر هو أدينوسين ثنائى الفوسفات ADP. وتبلغ كمية الطاقة اللازمة لتحول أدينوسين ثنائى الفوسفات ADP إلى أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP حوالى ٧٠٣ كيلوكالورى لكل مول*.

* المول هو الجزئ الجرامى أو الوزن الجزيئى بالجرامات.

وفى الخلايا مركبات أخرى عالية الطاقة عدا مركب أدينوسين ثلاثى الفوسفات مثل فوسفو إينول بيروفات Phosphoenol Pyruvate وكرياتين فوسفات Creatine Phosphate وكرباميل فوسفات Carbamyl Phosphate. ويعتبر أدينوسين ثنائى الفوسفات ADP أيضا من المركبات العالية الطاقة. إذ يمكن أن يستغل لذلك الغرض بأخذ مجموعة فوسفات من جزئ منه لتحويل جزئ آخر مماثل إلى أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP كما يلى :

$$ADP + ADP \rightleftharpoons ATP + AMP$$

ADP	ADP	ATP	AMP
أدينوسين ثنائى الفوسفات	أدينوسين ثنائى الفوسفات	أدينوسين ثلاثى الفوسفات	أدينوسين أحادى الفوسفات

تفاعلات الأكسدة والاختزال الأيضية

الأكسدة هى فقد الالكترونات، أما الاختزال فهو اكتساب الالكترونات. وهاتان العمليتان متلازمتان. وإذا تأكسد الجلوكوز بواسطة الأكسجين بحرقه فى أنبوبة اختبار فإن الالكترونات تنتقل إلى الأكسجين مرة واحدة فتحرر كمية كبيرة من الطاقة الحرارية تقدر بنحو ٦٧٣ كيلوكالورى لكل مول من الجلوكوز.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 673 \text{ Kcal/mole}$$

جلوكوز   أكسجين   ثانى أكسيد الكربون   ماء   ٦٧٣ كيلو كالورى/مول

لكن فى الخلايا يختلف الوضع عن ذلك. إذ أن أكسدة الجلوكوز فيها لاتتم فى خطوة واحدة كهذه ببساطة. بل إن انتقال الالكترونات يتم عبر عدد كبير من التفاعلات خلال عدة مراحل تشترك فيها إنزيمات ومرافقات إنزيمية (كوانزيمات Coenzymes)، وتتحرر فى كل خطوة كمية معتدلة من الطاقة. وهذا الإنتقال التدريجى للالكترونات يمكن الخلايا بالطبع من الإستفادة من الطاقة المصاحبة.

وتنتقل الالكترونات من الجلوكوز وغيره من المركبات إلى الأكسجين بمشاركة مركبات خاصة تعرف بناقلات الالكترون مثل نيكوتيناميد أدينين ثنائي النيوكليوتيد Nicotinamide Adenine Dinucleotide الذى يرمز له اختصاراً بالرمز NAD^+ وفلافين أدينين ثنائي النيوكليوتيد Flavin Adenine Dinucleotide الذى يرمز له اختصاراً بالرمز FAD. ويمكن لكلٍ من القاعدتين نيكوتيناميد وفلافين أن تتقبل زوجاً من الالكترونات (أى تختَزِل) فيتحول NAD^+ إلى NADH ويتحول FAD إلى $FADH_2$.

الفسفرة التأكسدية *Oxidative Phosphorylation*

تتم معظم تفاعلات الأكسدة التى تتوافق مع اختزال NAD^+ و FAD فى داخل الميتوكوندريا. ويوجد بالغشاء الداخلى للميتوكوندريا عدد من الإنزيمات المختصة بنقل الالكترونات من NADH و $FADH_2$ إلى الأكسجين. وتؤلف هذه الإنزيمات مع بعضها ما يعرف بالسلسلة التنفسية Respiratory Chain. وترتبط مع هذه الإنزيمات تركيبات كيميائية قابلة للاختزال ثم الأكسدة مثل أيونات الحديد والكبريت ومجموعة الهيم الحاوية على الحديد والنحاس. وتنتقل الالكترونات ضمن هذه السلسلة وبمشاركة هذه الناقلات إلى أن تصل إلى الأكسجين. وفى كل مرة ينتقل فيها الالكترون من ناقل إلى آخر تتحرر كمية من الطاقة. وتبلغ كمية هذه الطاقة عندما ينتقل الالكترون بين ناقلات معينة قدراً يكفى لصنع مركب أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP. ويتم ذلك بانتقال مجموعة فوسفات إلى جزئ أدينوسين ثنائى الفوسفات ADP. ومن هنا جاء مصطلح الفسفرة التأكسدية. إذ أن فى هاتين العمليتين المتلازمتين يتأكسد NADH أو $FADH_2$. وتضاف الفوسفات لجزئ ADP. وينتج عن أكسدة NADH ثلاثة جزيئات ATP، بينما تترافق أكسدة $FADH_2$ مع انتاج جزيئين فقط.

أيض المواد الغذائية

أولا - أيض الكربوهيدرات

تمتص الكربوهيدرات فى الأمعاء الدقيقة على هيئة سكاكر أحادية كالجلوكوز أو الفركتوز أو الجالاكتوز. ويتحول الفركتوز والجالاكتوز فى الكبد إلى جليكوجين. أما الجلوكوز فقد يبقى فى الدم أو الأنسجة ويؤكسد داخل الخلايا للحصول على الطاقة أو يختزن فى الكبد والعضلات على هيئة جليكوجين أو قد يتحول إلى دهون ويختزن على هذه الصورة.

لكن جزئ الجلوكوز قبل أن يمتص فى الأمعاء الدقيقة فإنه يتحد مع الفوسفات من خلال عملية فسفرة Phosphorylation ويتحول بواسطة إنزيم جلوكوكينيز Glucokinase إلى جلوكوز ـ٦ـ فوسفات الذى يتمكن من المرور بسهولة خلال غشاء الأمعاء الدقيقة:

$$\text{Glucose} + \text{ATP} \xrightarrow[\text{جلوكوكينيز}]{\text{Glucokinase}} \text{Glucose - 6 - Phosphate} + \text{ATP}$$

جلوكوز + أدينوسين ثلاثى الفوسفات ← جلوكوز ـ ٦ ـ فوسفات + أدينوسين ثلاثى الفوسفات

وبعد أن يمر جزئ الجلوكوز ـ٦ـ فوسفات من غشاء الأمعاء الدقيقة فإنه يعود ويتحرر ثانية بواسطة إنزيم الفوسفاتيز Phosphatase إلى جلوكوز حر يمر إلى الدورة الدموية :

$$\text{Glucose - 6 - Phosphate} + \text{ADP} \xrightarrow[\text{فوفسفاتيز}]{\text{Phosphatase}} \text{Glucose} + \text{ATP}$$

جلوكوز ـ ٦ ـ فوسفات + أدينوسين ثنائى الفوسفات ← جلوكوز + أدينوسين ثلاثى الفوسفات

ثم يتجه الجلوكوز الحر إلى الوريد البابى الكبدى، ويتحول مرة أخرى

بواسطة إنزيم الجلوكوكينيز إلى جلوكوز ـ٦ـ فوسفات الذى يتوقف مصيره على معدل الجلوكوز فى الدم.

مصير الجلوكوز

اعتماداً على معدل الجلوكوز فى الدم يؤول مصير الجلوكوز الممتص (جلوكوز ـ٦ـ فوسفات) إلى أحد طريقين :

١ـ عند المعدل الطبيعى لجلوكوز الدم

إذا كان جلوكوز الدم فى معدله الطبيعى (٨٠ ـ ١٢٠ ملجم/١٠٠ مل من الدم) فإن الجلوكوز ـ٦ـ فوسفات يتحول إلى جلوكوز ـ١ـ فوسفات بفعل إنزيم الفوسفوجلوكوميوتيز Phosphoglucomutase. ثم يتحول بفعل إنزيم الفوسفوريليز Phosphorylase إلى جليكوجين يخزن فى الكبد والعضلات لحين الحاجة :

$$\text{Glucose - 6 - Phosphate} \xrightarrow[\text{فوسفوجلوكوميوتيز}]{\text{Phosphoglucomutase}} \text{Glucose -1 - Phosphate}$$

جلوكوز ـ ٦ ـ فوسفات   جلوكوز ـ ١ ـ فوسفات

$$\text{Glycogen} \xleftarrow[\text{فوسفوريليز}]{\text{Phosphorylase}}$$

جليكوجين

وحين يتحلل مخزون الكبد من الجليكوجين فإنه يطلق كمية من الجلوكوز إلى الدم تسد حاجة الخلايا فى الفترات التى يقف فيها وصول الجلوكوز من الأمعاء. أما ما يخزن فى العضلات من جليكوجين فإنه يستهلك من قبل العضلات نفسها لانتاج الطاقة الكيميائية اللازمة للتقلص العضلى.

ويساعد خزن الجليكوجين فى الكبد على المحافظة على تركيز جلوكوز

الدم عند المعدل الطبيعى فى الفترة التى تلى الطعام مباشرة حيث يزيد معدل وصول الجلوكوز من الأمعاء. وتبلغ كمية الجليكوجين التى يخزنها الكبد فى الأحوال الطبيعية بمائة جرام تقريبا. أما ما يخزن منه فى العضلات فيقارب ٢٥٠ جرام. والحكمة فى خزن الجلوكوز على هيئة جليكوجين هو الحيلولة دون زيادة الضغط الأسموزى. وهذا يعتمد كما هو معروف على عدد الجزيئات وليس على حجمها.

ويشتمل أيض الجليكوجين على عنصرين هامين يتمثلان فى البناء والهدم وهما: تصنيع الجليكوجين من مصادر كربوهيدراتية Glycogenesis أو من مصادر غير كربوهيدراتية Glyconeogensis، وتحلل الجليكوجين Glycogenolysis. وتتوازن عمليتا تصنيع الجليكوجين وتحلله توازناً كبيراً. إذ تتحكم الهرمونات فى ذلك بصورة رئيسية. فهرمون الإنسولين الذى يفرز من خلايا بيتا بجزر لانجرهانز فى البنكرياس يساعد فى عملية بناء الجليكوجين، بينما يساعد هرمون الأدرينالين الذى تفرزه الغدتان الكظريتان وهرمون الجلوكاجون الذى تفرزه خلايا أ لفا بجزر لانجرهانز البنكرياسية وهرمونات الفص الأمامى للغدة النخامية فى عملية تحلل الجليكوجين.

أ ـ تصنيع الجليكوجين *Glycogen Synthesis*

تصنيع الجليكوجين من مصادر كربوهيدراتية *Glycogenesis*

هذه العملية هى المصدر الأساسى لبناء الجليكوجين. وتنشط فى فترات مابعد وجبات الطعام مباشرة حيث يتزايد تركيز جلوكوز الدم نتيجة وصوله من الأمعاء. فيزداد افراز هرمون الإنسولين من البنكرياس. ويساعد هذا على دخول الجلوكوز إلى الخلايا الكبدية، فينشط تصنيع الجليكوجين منه. ويعمل على نمو جزئ الجليكوجين وتشعبه إنزيمان، أولهما هو إنزيم جليكوجين سينثتيز

Glycogen Synthetase الذى يحفز إضافة جزئ الجلوكوز إلى النهاية الحرة لإحدى السلاسل الفرعية الكثيرة فى جزئ الجليكوجين. ويعمل هرمون الإنسولين على تنشيط هذا الإنزيم. وثانيهما هو إنزيم التشعيب Branching Enzyme. ويعمل على تكوين السلاسل الفرعية، أى تشعيب الجليكوجين. وتتلخص طريقة عمله بنقل قطعة مؤلفة من عدة جزيئات جلوكوز من إحدى السلاسل وربطها مع ذرة الكربون السادسة لأحد جزيئات الجلوكوز فى السلسلة الأصلية أو فى سلسلة فرعية مجاورة.

تصنيع الجليكوجين من مصادر غير كربوهيدراتية *Glyconeogenesis*

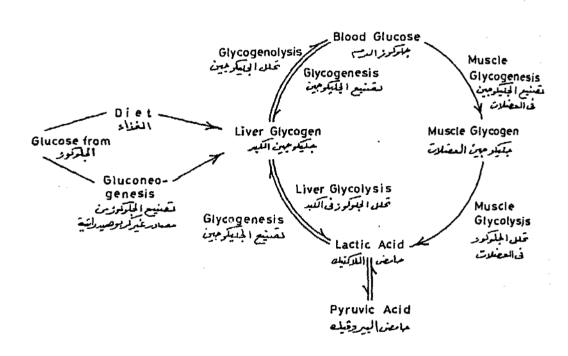
يعتبر تصنيع الجليكوجين من مصادر غير كربوهيدراتية كالبروتين والدهون مصدراً ثانوياً للجليكوجين. ويحدث كخطوة إضافية فى التفاعلات الأخيرة لمسار تصنيع الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية Gluconeogenesis (شكل ١٠) حيث يمكن للجلوكوز ـ٦ـ فوسفات أن يتحول إما إلى جلوكوز بفعل إنزيم الجلوكوز ـ٦ـ فوسفاتيز أو إلى جلوكوز ـ١ـ فوسفات بفعل إنزيم الفوسفوجلوكوميوتيز، يتحول بعده إلى جليكوجين بفعل إنزيم الفوسفوريليز.

ب ـ تحلل الجليكوجين *Glycogenolysis*

عندما ينخفض معدل الجلوكوز فى الدم يبدأ تحلل الجليكوجين فى الكبد. وتفصيل ذلك أن انخفاض الجلوكوز فى الدم يحفز البنكرياس على افراز هرمون الجلوكاجون فى الدم الذى ينتقل إلى الكبد حيث يدخل فى عدة تفاعلات من شأنها أن تنشط إنزيم الفوسفوريليز Phosphorylase المختص بهدم الجليكوجين. أما الجليكوجين فى العضلات فإنه يتحلل بآلية مماثلة نتيجة

وصول هرمون الأدرينالين إلى سطح الخلايا حيث يبدأ سلسلة من التفاعلات لخلوية التى تؤدى إلى تنشيط إنزيم الفوسفوريليز فى العضلات.

ويختلف جليكوجين العضلات عن جليكوجين الكبد فى أنه لايمكن أن يتحرر إلى جلوكوز حر نظراً لغياب إنزيم الفوسفاتيز Phosphatase الذى يقتصر وجوده على الكبد. وجليكوجين العضلات هو مصدر الطاقة فى تلك الأنسجة والتى يمكن الحصول عليها بواسطة سلسلة من التفاعلات اللاهوائية والتى تعرف بدورة حامض اللاكتيك أو دورة كورى Cori Cycle (شكل ٦). إذ فى هذه الدورة يتحول الجليكوجين إلى جزيئين من حامض البيروفيك وجزيئين من أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP.



شكل (٦)

دورة حامض اللاكتيك Lactic Acid Cycle

أو دورة كورى Cori Cycle

ويتكسر جليكوجين العضلات أيضاً أثناء الاجهاد العضلى منتجاً حامض اللاكتيك Lactic Acid الذى يمر إلى الدورة الدموية العامة. فإما يؤكسد لإطلاق الطاقة أو يحول مرة أخرى إلى جليكوجين فى الكبد. هذا ويمكن أن يتحول جليكوجين العضلات إلى جلوكوز بطريقة غير مباشرة.

٢ـ عند المعدل الأقل من الطبيعى لجلوكوز الدم

إذا كان معدل الجلوكوز فى الدم أقل من الطبيعى (أى أقل من ٨٠ ـ ١٢٠ ملجم/١٠٠ مل من الدم) فإن الجلوكوز ـ٦ـ فوسفات يتحرر إلى جلوكوز حر يضاف إلى جلوكوز الدم ليجعله ثابتاً.

أكسدة الجلوكوز

يذهب الجلوكوز الحر إلى الخلايا المختلفة فيتأكسد إلى ثانى أكسيد الكربون وماء وتنطلق الطاقة اللازمة لأنشطة الجسم المختلفة :

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 673 \text{ Kcal/mole}$$

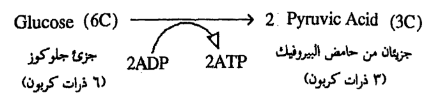
جلوكوز أكسجين ثانى أكسيد الكربون ماء ٦٧٣ كيلو كالورى/مول

ولاتتم هذه الأكسدة لجزئ الجلوكوز بخطوة واحدة بل على مرحلتين رئيسيتين هما:

تحلل الجلوكوز Glycolysis أو مايسمى بالتنفس الهوائى Anaerobic Respiration أو مسار إيمبدين مايرهوف Embden-Meyerhof Pathway، ودورة كريبس Krebs Cycle أو مايسمى بالتنفس الهوائى Aerobic Respiration أو دورة حامض السيتريك Citric Acid Cycle.

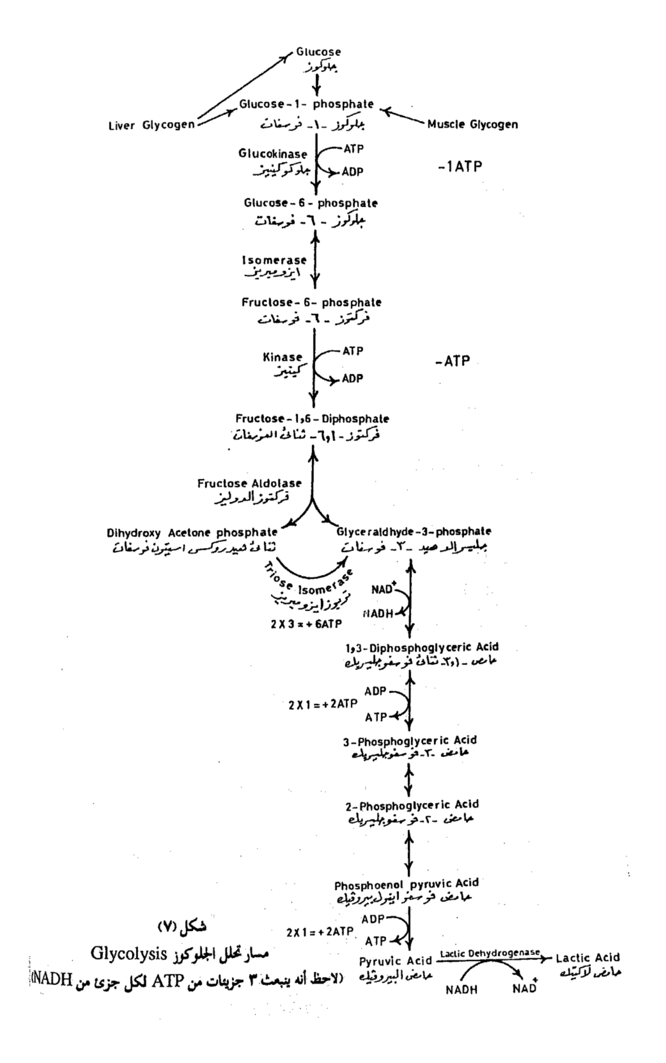
أ ـ تحلل الجلوكوز *Glycolysis*

فى هذه المرحلة لايلزم وجود الأكسجين. وهى عبارة عن مسار أيضى تجرى تفاعلاته فى سيتوبلازم جميع أنواع الخلايا فى الانسان والحيوان والنبات. وخلال هذه العملية يتكسر جزئ الجلوكوز إلى جزيئين من حامض البيروفيك ويتحرر ٨ جزيئات من أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP، كما فى المعادلة التالية التى تلخص تفاعلات تحلل الجلوكوز :



ولايستطيع الجسم الاعتماد على هذه الطاقة غير الكافية. لذا فلابد من الاستفادة من حامض البيروفيك الناتج عن هذه العملية وتحطيمه وتحليله لانتاج طاقة أكثر. ويتم ذلك بوجود الأكسجين وفى داخل الميتوكوندريا حيث تحدث دورة كريبس. لذا يعتبر المسار الأيضى لتحلل الجلوكوز Glycolysis مرحلة تمهيدية للأكسدة الكاملة للجلوكوز إلى ثانى أكسيد الكربون والماء للحصول على الطاقة وذلك من خلال دورة كريبس. ويبين شكل (٧) خطوات المسار الأيضى لتحلل الجلوكوز Glycolysis وحساب الطاقة المنبعثة من مراحلها المختلفة. وبالنظر إلى تفاعلات تحلل الجلوكوز يلاحظ أنه لتكسير كل جزئ من الجلوكوز إلى جزيئين من حامض البيروفيك يستهلك من أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP جزيئان وينبعث منه عشرة جزيئات، فيكون الناتج الصافى هو ثمانى جزيئات من أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP.

يعتمد استمرار مسار تحلل الجلوكوز على توفر نيوكليوتيدات NAD^+ التى تختزل فى تفاعل أكسدة الجليسرالدهيد فوسفات. وحيث أن كمية NAD^+ فى الخلية محدودة فإن استمرار تفاعلات المسار يتطلب إعادة أكسدة NADH إلى NAD^+. ففى الظروف الهوائية عند توافر الأكسجين تتم أكسدة NADH



شكل (٧)

مسار تحلل الجلوكوز Glycolysis

(لاحظ أنه ينبعث ٣ جزيئات من ATP لكل جزئ من NADH)

فى الميتوكوندريا وخزن الطاقة الناتجة على شكل أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP، حيث تؤدى أكسدة كل جزئ من جزيئي NADH إلى تكون ثلاثة جزيئات من أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP. وهكذا يصبح العدد الكلى لجزيئات أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP ثمانية جزيئات لكل جزئ من الجلوكوز يتحول إلى حامض البيروفيك؛ إثنان منها ينتجان فى السيتوبلازم مباشرة بينما تنتج الستة الباقية فى الميتوكوندريا.

لكن حيث يقل وجود الأكسجين فى ميتوكوندريا العضلات كما فى حالة التمارين العضلية الشديدة، بل وحين تغيب الميتوكوندريا من خلايا الدم الحمراء فإن حامض البيروفيك يختزل إلى حامض اللاكتيك مع أكسدة NADH إلى NAD^+. ويتم ذلك بمساعدة إنزيم لاكتيك دهيدروجينيز LDH المتوافر فى خلايا العضلات وخلايا الدم الحمراء. وهكذا يكون الناتج النهائى لتحلل الجلوكوز فى الظروف اللاهوائية هو حامض اللاكتيك بدلاً من حامض البيروفيك، لكن عدد جزيئات أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP التى تتكون فى هذه الحالة يبقى ٢ بدلاً من ٨. وواضح أن لهذا التفاعل أهمية فى توفير NAD^+ الذى يمكن تفاعلات تحلل الجلوكوز من الاستمرار.

$$\underset{\text{Pyruvic Acid}}{CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-COOH} + NADH \underset{\text{Reduction}}{\overset{\text{Oxidation}}{\rightleftharpoons}} \underset{\text{Lactic Acid}}{CH_3-\overset{\overset{OH}{|}}{CH}-COOH} + NAD^+$$

حامض البيرفيك — حامض اللاكتيك

ولايمكن لجزيئات حامض اللاكتيك الناتجة من هذا التفاعل أن تدخل فى أى تفاعل آخر. والسبيل الوحيد للتخلص منها هو أن تنقل بواسطة الدم إلى الكبد حيث تؤكسد ثانية هناك إلى حامض البيروفيك. وذلك من خلال نفس التفاعل الذى تكونت فيه لكن فى الاتجاه المعاكس. كما أنه من الممكن أيضا أن يؤكسد حامض اللاكتيك الذى بقى فى العضلات إلى حامض البيروفيك، وذلك بعد أن تتوقف التمارين العضلية ويتوافر الأكسجين بكميات كافية.

وجدير بالذكر أن تفاعلات تحلل السكر فى الظروف اللاهوائية تحدث أيضا فى الخميرة، إلا أنه بالطبع لايختزل حامض البيروفيك إلى حامض اللاكتيك. لكن حامض البيروفيك يتحول إلى أسيتالدهيد وثانى أكسيد الكربون :

$$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-COOH + NADH \underset{Reduction}{\overset{Oxidation}{\rightleftharpoons}} CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}H + Co_2$$

Pyruvic Acid — حامض البيرفيك ؛ Acetaldhyde — أسيتالدهيد ؛ ثانى أكسيد الكربون

ثم يختزل الأسيتالدهيد إلى كحول إيثلى فى تفاعل تال كالآتى:

$$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}H + NADH + H^+ \longrightarrow CH_3-CH_2OH + NAD^+$$

Acetaldhyde — أسيتالدهيد ؛ Ethyl Alchol — كحول إيثلى

وواضح ما لهذا التفاعل من أهمية فى توفير NAD^+ الذى يمكن تفاعلات تحلل الجلوكوز من الاستمرار.

ب ـ دورة كريبس *Krebs Cycle*

فى هذه المرحلة يلزم وجود الأكسجين. وهى عبارة عن دورة تحدث فى ميتوكوندريا جميع خلايا الجسم. وفيها يتكسر حامض البيروفيك إلى ثانى أكسيد الكربون والماء ويتحرر ١٥ جزيئاً من أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP . ولما كان كل جزئ من الجلوكوز يكون جزيئين من حامض البيروفيك فإنه ينتج ٢ × ١٥ أى ٣٠ جزيئاً من أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP. هذا ويمكن كتابة التفاعل النهائى لدورة كريبس كالآتى :

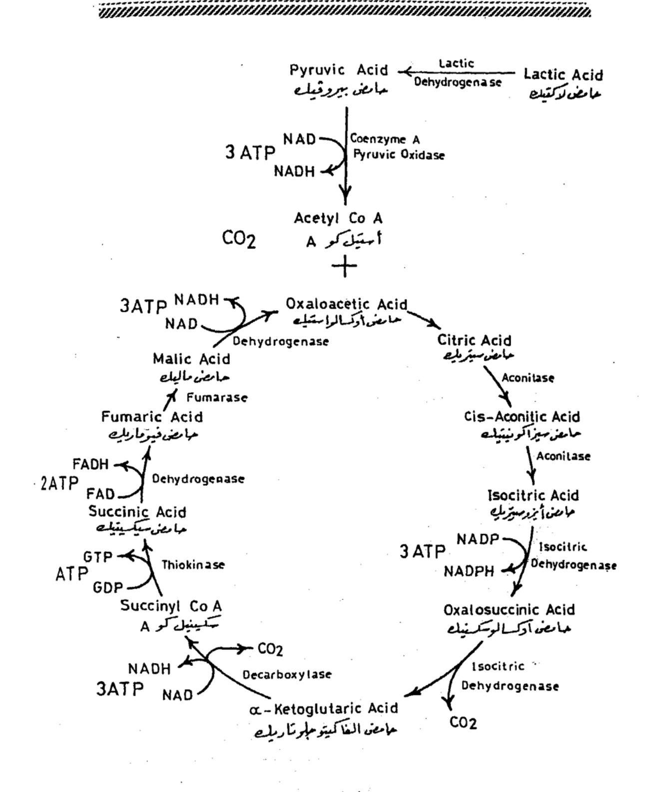
$$CH_3COCOOH + \frac{5}{2}O_2 + 15ADP + 15\,Pi \longrightarrow 3CO_2 + 2H_2O + 15ATP$$

حامض بيروفيك ؛ أكسجين ؛ أدينوسين ثنائى الفوسفات ؛ فوسفات ؛ ثانى أكسيد الكربون ؛ مـاء ؛ أدينوسين ثلاثى الفوسفات

ويوضح شكل (٨) الخطوات التفصيلية لدورة كريبس وحساب الطاقة المنبعثة من كل مرحلة منها. وفى هذه الدورة تفقد ذرتان من الكربون على هيئة ثانى أكسيد الكربون CO_2 وتختزل ثلاثة جزيئات NAD^+ إلى NADH وجزئ FAD إلى $FADH_2$، ويتكون جزئ من مركب فوسفات عالى الطاقة هو جوانوسين ثلاثى الفوسفات GTP بدءاً من جوانوسين ثنائى الفوسفات GDP.

ومن خلال دورة كريبس تنتهى أكسدة الكربوهيدرات والأحماض الأمينية والأحماض الدهنية. فتتحرر الطاقة المختزنة فى هذه الجزيئات وتحفظ فى النيوكليوتيدات الثنائية NADH و $FADH_2$ التى تؤكسد ثانية فى تفاعلات الفسفرة التأكسدية لتكوين مركب أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP. هذا وينطلق الجزء الأكبر من الطاقة فى المرحلة الهوائية (دورة كريبس). إذ أن تأكسد الجلوكوز إلى ثانى أكسيد الكربون والماء ينتج عنه ٦٧٣ كيلو كالورى لكل مول، فى حين أن تأكسد نفس الكمية من الجلوكوز إلى حامض البيروفيك ينتج عنه ٣٦ كيلوكالورى فقط. وعند القيام بمجهود عضلى كبير فى زمن قصير فإن الجسم يضطر إلى أن يعتمد إلى حد كبير على المرحلة اللاهوائية (تحلل السكر Glycolysis) للحصول على الطاقة اللازمة لأن الدم يعجز عن أن يمد العضلات بالقدر الكافى من الأكسجين، كما أن قصر الوقت لايسمح بإتمام المرحلة الهوائية. ولذلك يلجأ الجسم إلى تحليل كميات كبيرة من الجلوكوز إلى حامض البيروفيك حتى يستطيع أن يحصل على الطاقة اللازمة لمثل هذا المجهود.

وتجدر الإشارة هنا إلى الفرق بين احتراق الجلوكوز خارج الجسم وداخله. فاحتراق الجلوكوز احتراقاً كاملاً (أى فى أنبوبة اختبار) يعطى ٦٧٣ كيلو كالورى لكل مول، بينما تعطى أكسدته من خلال عمليتى تحلل الجلوكوز Glycolysis ودورة كريبس Krebs cycle ٣٨ جزيئاً من أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP. ولما كان كل جزئ من أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP



شكل (٨)

دورة كربس Krebs cycle

(لاحظ أنه ينبعث ٣ جزيئات من ATP لكل جزئ من NADPH، وينبعث جزيئان من ATP لكل جزيء من FADH، وينبعث جزيء واحد من ATP لكل جزيء من GTP)

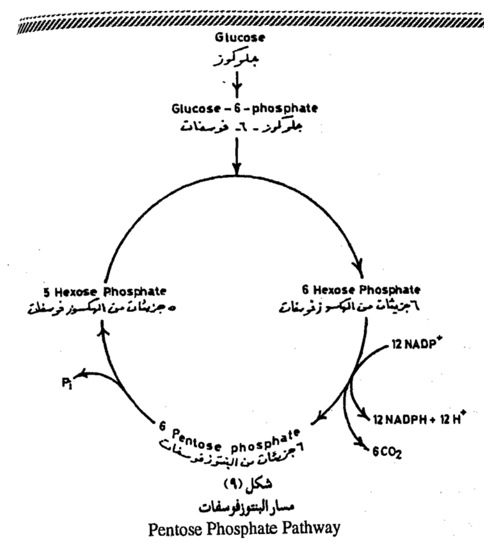
يعادل ٨ كيلو كالورى فإن ما ينتج من طاقة عند تأكسد الجلوكوز خلال عمليتى تحلل الجلوكوز Glycolysis ودورة كريبس Krebs cycle يعادل ٣٨ ×٨ = ٣٠٤ كيلو كالورى.

مسار البنتوز فوسفات *Pentose Phosphate Pathway*

تبين فيما سبق أن الجلوكوز يتحطم فى أنسجة العضلات ليعطى ثانى أكسيد الكربون والماء وتنتج الطاقة اللازمة للجسم على هيئة جزيئات من مركب أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP. ويتم ذلك بتأثير عدة إنزيمات مختلفة فى مسارين هامين مختلفين من مسارات أيض الكربوهيدرات هما تحلل الجلوكوز Glycolysis ودورة كريبس Krebs Cycle. أما فى خلايا الدم الحمراء والكبد والأنسجة الدهنية فإن الجسم يستعمل بالإضافة إلى المسارين المذكورين مساراً آخراً لتحطيم الجلوكوز، يسمى بمسار البنتوز فوسفات (شكل٩). ويلجأ الجسم إلى هذا المسار للحصول على مركب NADPH الذى تبرز الحاجة إليه فى بعض عمليات التصنيع الحيوى.

ومن خلال هذه المسار يتضح أن ٦ جزيئات من الهكسوزفوسفات تتأكسد لتعطى ٦ جزيئات من ثانى أكسيد الكربون و٦ جزيئات من البنتوزفوسفات، ثم يعاد تحويل هذه الجزيئات الستة إلى ٥ جزيئات من الهكسوزفوسفات. وبعد ذلك ينضم إلى هذه الجزيئات الخمسة جزئ جديد من الهكسوزفوسفات فتتم مسار أخرى للبنتوز.

وعلى الرغم من أن الناتج النهائى لهذا المسار هو الأكسدة الكاملة لجزئ جلوكوز واحد إلا أن هذا المسار ليس مصدراً للطاقة فى الجسم. لكن مايحدث فى خلايا الثدييات من خلال هذا المسار هو تحويل $NADP^+$ إلى NADPH. كما أن هذا المسار هو المسار الأيضى الذى يمكن بواسطته الحصول على السكريات الخماسية الكربون (بنتوزات). ويعد مسار البنتوزفوسفات أكثر نشاطاً



شكل (٩)

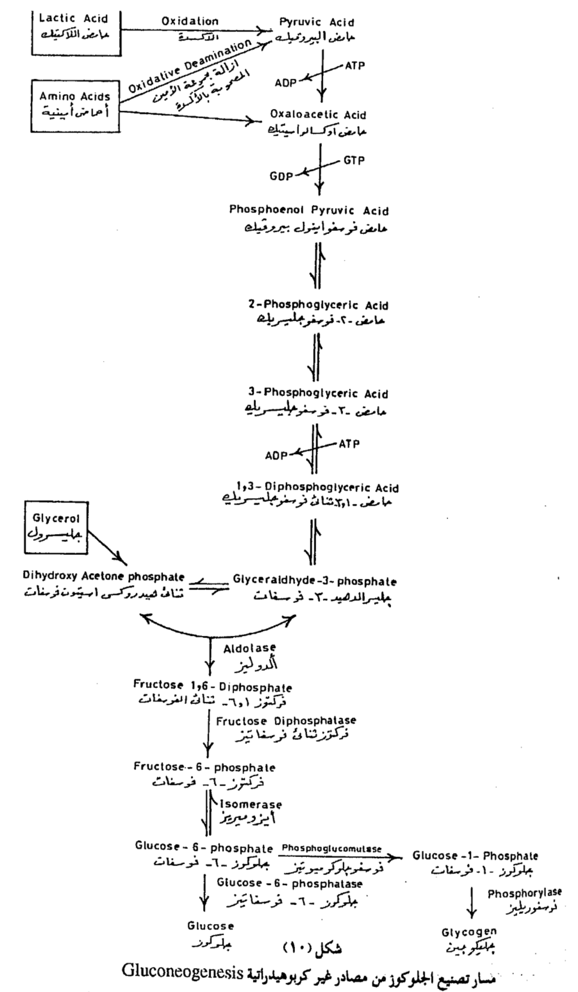
مسار البنتوزفوسفات

Pentose Phosphate Pathway

فى الكبد والغدد الثديية حيث توجد حاجة ماسة للحصول على NADPH لكى تصنع الأحماض الدهنية.

تصنيع الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية *Gluconeogenesis*

فى حالات الصيام والتمارين العضلية فى الكبد يتم تصنيع الجلوكوز من مصادر أخرى عدا الكربوهيدرات، وذلك من خلال مسار محدد (شكل ١٠) يبدأ بحامض البيروفيك وينتهى بالجلوكوز الذى يعبر الغشاء الخلوى لخلايا الكبد لكى يصل إلى الدم، ومنه إلى بقية خلايا الجسم. وينبغى ألا يظن أن ذلك عكس مسار تحلل الجلوكوز Glycolysis الذى يبدأ بالجلوكوز وينتهى بحامض البيروفيك لكن المسارين مختلفان، وإن اشتركا فى معظم التفاعلات. ويرجع سبب ذلك أولاً إلى ضرورة اختلاف مسارات البناء والهدم لكى يمكن



شكل (١٠)

مسار تصنيع الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية Gluconeogenesis

السيطرة على حدوث كل منهما، وثانياً يرجع السبب لكون ثلاثة من تفاعلات تحلل الجلوكوز Glycolysis (الأول والثالث والأخير) غير منعكسة.

ويعتبر حامض البيروفيك هو المادة الأولية لصنع الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية. ويأتى حامض البيروفيك من أكسدة حامض اللاكتيك ومن إزالة مجموعة الأمين من بعض الأحماض الأمينية مثل الألانين والسيرين وغيرهما. ويمكن لأى من المركبات الوسيطة فى تفاعلات مسار كريبس أن تستخدم فى هذا المسار بعد أن تحول إلى حامض الأوكسالوأسيتك الذى يعتبر أحد المركبات الوسطية فى مسار تصنيع الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية. كما يمكن للجليسرول الناتج عن تميؤ الدهون أن يدخل إلى هذا المسار بعد أن تنتقل إليه مجموعة فوسفات ثم يؤكسد الناتج إلى ثنائى هيدروكسى أسيتون فوسفات.

جلوكوز الدم *Blood Glucose*

يأتى الجلوكوز إلى الدم من ثلاثة مصادر رئيسية، أولها: هضم الكربوهيدرات التى تتحول إلى جلوكوز وفركتوز وجلاكتوز ثم تمتص وتمر فى الوريد البابى كما هو معروف، ويتحول الفركتوز والجلاكتوز إلى جلوكوز ثم إلى جليكوجين فى الكبد. والمصدر الثانى لجلوكوز الدم هو المركبات غير الكربوهيدراتية مثل الأحماض الأمينية والجليسرول الذين يتحولان إلى جلوكوز من خلال المسار المعروف بتصنيع الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية Gluconeogenesis. أما المصدر الثالث لجلوكوز الدم فهو ما ينتج عن تحلل جليكوجين الكبد Glycogenolysis. ويلعب هرمون الأدرينالين Adrenaline الذى يفرز من نخاع الغدتين الكظريتين والهرمون مولد السكر Diabetogenic Hormone الذى يفرز من الفص الأمامى للغدة النخامية دوراً هاماً فى العمل على تحويل جليكوجين الكبد إلى جلوكوز يمر إلى الدم.

ويتراوح تركيز الجلوكوز فى الدم بين ٨٠ ـ ١٢٠ ملجم / ١٠٠ مل من الدم. ويسمى هذا بمعدل السكر فى الدم (Blood Sugar Level (BSL. هذا ولكى يبقى معدل الجلوكوز فى الدم ثابتاً يمكمن تنظيم تركيزه فى الدم بتحول جليكوجين الكبد إلى جلوكوز. كما يمكن أيضاً تحويل كمية قليلة من جليكوجين الكلى إلى جلوكوز. ويوجد فى هذين العضوين (الكبد والكلى) إنزيم جلوكوز ـ٦ـ فوسفاتيز Glucose-6-Phosphatase الذى يحول الجلوكوز ـ٦ـ فوسفات إلى جلوكوز. وتختزن العضلات الهيكلية أيضا الجليكوجين. لكنها تفتقر إلى هذا الإنزيم، فلا يمكنها تحويل الجليكوجين إلى جلوكوز. لذلك ليس لها أية علاقة مباشرة بجلوكوز الدم. كما يقابل عملية تحلل الجليكوجين Glycogenolysis عملية تصنيعه Glycogenesis التى تحول مايزيد من جلوكوز الدم إلى جليكوجين. ويتم ذلك فى الكبد والعضلات. ولكى يسيطر الكبد على محتواه من الجلوكوز، خاصة إذا عرفنا أن الجلوكوز من الممكن أن يخترق جدر الخلايا فإن عملية هامة تحدث داخل خلايا الكبد لكى يبقى الجلوكوز داخلها. وتسمى هذه العملية الفسفرة Phosphorylation، وفيها يضاف الفوسفور إلى الجلوكوز، ويلزم لها إنزيم جلوكوكينيز Glucokinase وأيون الماغنسيوم :

$$\text{Glucose} + \text{ATP} \xrightarrow{\text{Glucokinase + Mg}} \text{Glucose -6- Phosphate} + \text{ADP}$$

جلوكوز + أدينوسين ثلاثى الفوسفات ← (أيون ماغنيسيوم + جلوكوكينيز) جلوكوز ـ٦ـ فوسفات + أدينوسين ثنائى الفوسفات

وإذا زاد معدل الجلوكوز فى الدم فإن خلايا بيتا فى جزر لانجرهانز بالبنكرياس تقوم بافراز هرمون الإنسولين الذى يلعب دوراً هاماً فى تنظيم معدل السكر بالدم. إذ يؤدى افرازه إلى انخفاض تركيز سكر الدم Hypoglycemia. كما أن وجود هذا الهرمون بالدم ينشط عملية تصنيع الجليكوجين وعملية تصنيع الدهون من السكر ومن الكربوهيدرات بشكل عام. ولهذا الهرمون

خاصية هامة هى أنه يساعد أيضا على زيادة نفاذية جدران الخلايا للجلوكوز. وإذا نقص افراز الإنسولين بالجسم يحدث مرض السكر Diabetes Mellitus الذى ترتفع فيه نسبة السكر فى الدم. وليس نقص افراز الإنسولين هو السبب الأوحد فى حدوث مرض السكر، بل قد يكون تركيب الإنسولين نفسه مختلاً أو قد يوجد خلل فى مستقبلات الأنسولين بالخلية. وللوراثة دور هام فى الإصابة بهذا المرض. وتؤدى زيادة الجلوكوز فى الدم Hyperglycemia إلى افرازه فى البول Glycosuria.

ومن أهم أعراض مرض السكر تكرار التبول والنهم ونقص الوزن والشعور بالتعب والأرهاق عند بذل أقل مجهود واضطراب الرؤية وتأخر التئام الجروح واستهلاك بروتينات الجسم مما يؤدى إلى ضعف البنية. وعند اشتداد المرض تظهر فى البول إلى جانب السكر الزائد فى الدم مركبات كيتونية تدعى الأجسام الكيتونية Ketone Bodies، وهى ثلاثة : الأسيتون والأسيتوأسيتات وبيتاهيدروكسى بيوتيرات. ومن العوامل المرتبطة بمرض السكر البدانة والسن والجنس والوراثة، وأهمها البدانة.

اخراج الجلوكوز فى البول *Glycosurea*

قد يزيد أحياناً معدل الجلوكوز فى الدم عن الطبيعى، أى تعلو قيمته عن ١٢٠ ملجم/١٠٠ مل من الدم (الحد الأعلى للمعدل الطبيعى للجلوكوز فى الدم Blood Sugar Level). وعند وصول الدم إلى الكليتين لترشيح البول منه فإن للأنيبوبات البولية فى الكليتين مقدرة محدودة على إعادة امتصاص الجلوكوز المار مع الراشح. ويسمى هذا بعتبة الكلية Renal Threshold. وتبلغ قيمة هذه العتبة ١٨٠ ملجم/١٠٠ مل من الدم. أى يمكن إعادة امتصاص الجلوكوز المرشح فى الكليتين والزائد عن ١٢٠ ملجم وحتى ١٨٠ ملجم/١٠٠ مل من الدم. وعند زيادة معدل الجلوكوز فى الدم عن قيمة عتبة الكلية فإنه لابد للجلوكوز الزائد من أن يمر مع البول إلى خارج الجسم.

ويزيد معدل الجلوكوز فى الدم نتيجة لعوامل عديدة أهمها عدا مرض السكر أو تناول وجبات عالية من الكربوهيدرات أن قيمة عتبة الكلية قد تكون لدى بعض الأشخاص الأصحاء أقل من ١٨٠ ملجم/١٠٠ مل من الدم نظراً لحدوث خلل فى الأنيبوبة البولية نفسها. فيخرج بذلك الجلوكوز مع البول، وتسمى هذه الحالة بمرض السكر الحميد Diabetes Innocens.

ثانيا ـ أيض البروتينـات

الأحماض الأمينية هى النواتج النهائية لهضم البروتينات. ويمكن تصنيف الأحماض الأمينية إلى ثلاثة أصناف رئيسية هى :

- **أحماض أمينية مولدة للسكر** *Glycogenic* : وهى التى تنتج حامض البيروفيك أو حامض الفوسفوجليسريك أو أحد المركبات الوسطية فى دورة كريبس. ويمكن من جميع هذه المركبات تصنيع الجلوكوز. وتضم هذه المجموعة ١٤ حامضاً أمينياً هم : الجليسين، والألانين، والفالين، والسيرين، والثريونين، والأسباراجين، وحامض الجلوتاميك، والجلوتامين، والأرجينين، والهستيدين، وحامض الأسبارتيك، والبرولين، والسيستيين، والميثيونين.

- **أحماض أمينية مولدة للكيتون** *Ketogenic* : وهى التى لايمكن صنع الجلوكوز منها. إذ أن الناتج النهائى منها هو أستيل كوA أو أسيتو أستيل كو A. وكل من المركبين غير قابل للتحول إلى جلوكوز فى الانسان. وتضم هذه المجموعة حامضين أمينيين اثنين فقط هما الليوسين والليسين.

- **أحماض أمينية مولدة للسكر والكيتون معاً** : وهى الأحماض التى من ذراتها ما يحول إلى أستيل كو A، بينما تتحول ذرات أخرى إلى أحد مركبات دورة كريبس. وتضم هذه المجموعة أربعة أحماض، فى تركيب ثلاثة منها حلقة بنزين وهى التيروسين والتريبتوفان والفنيل ألانين، أما الرابع فهو الأيزوليوسين.

مصير الأحماض الأمينية

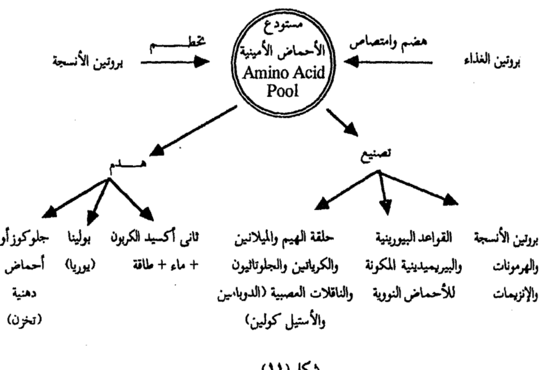
تشكل الأحماض الأمينية الحرة الناتجة عن هضم البروتينات مزيجاً يقع فى السوائل الخلوية وخارجها، يمكن أن يوصف بمستودع الأحماض الأمينية Amino Acid Pool. ومحتوى هذا المستودع فى حالة تقلب وتبدل مستمرين. فمنه تؤخذ الأحماض الأمينية لصنع البروتينات والمركبات الأخرى، وإليه تضاف الأحماض الأمينية الناتجة عن هضم البروتينات وامتصاصها. ويعد تحطم بروتينات الجسم رافداً هاماً لهذا المستودع. إذ من المعروف أن لبروتينات الجسم عمراً محدداً، فخلايا الدم الحمراء تعيش حوالى ١٢٠ يوماً، تتحطم بعدها ويخرج محتواها من الهيموجلوبين. ويتفكك الجلوبين إلى مكوناته من الأحماض الأمينية التى تضاف إلى المستودع. وكذلك الحال بالنسبة للإنزيمات والبروتينات الأخرى فى الجسم التى تتراوح أعمارها من دقائق إلى سنوات.

ولايملك الجسم آلية خاصة لخزن الأحماض الأمينية الفائضة، كما هو الحال بالنسبة للكربوهيدرات أو الدهون. وليس الهدف من صنع البروتينات هو خزن الأحماض الأمينية الفائضة عن الحاجات الأساسية بل انها تصنع لتؤدى وظائفها الخاصة بها. فإذا نظرنا إلى كمية النيتروجين الواردة مع الغذاء اليومى والكمية المفرزة منه نجد أن الانسان السليم المكتمل النمو يكون فى حالة اتزان نيتروجينى Nitrogen Balance، أى أن جسمه لايختزن النيتروجين الفائض كما لايقل محتواه من النيتروجين. لكن هذا لايعنى أن الانسان الكامل النمو فى غنى عن الأغذية المحتوية على النيتروجين (البروتينات). وتقدر كمية البروتينات اللازمة للمحافظة على الاتزان النيتروجينى عند الانسان الكهل بحوالى ٢٠ جرام يومياً.

هذا ويتحدد مصير الأحماض الأمينية الحرة المكونة لمستودع الأحماض الأمينية بدخولها فى أحد المسارين الأيضيين التاليين (شكل ١١) :

١ ـ استخدام الأحماض الأمينية فى تصنيع البروتينات والمركبات النيتروجينية غير البروتينية.

تعتبر الأحماض الأمينية الحرة هى المادة الأولية لصنع بروتينات الأنسجة والهرمونات والإنزيمات والمركبات النيتروجينية الأخرى ذات الوظائف الحيوية الهامة مثل القواعد البيورينية والبيريميدنية المكونتين للأحماض النووية، وحلقة الهيم والميلانين والكرياتين والجلوتاثيون وبعض الناقلات العصبية كالدوبامين والأستيل كولين.



شكل (١١)
مصير الأحماض الأمينية

٢ـ أكسدة الأحماض الأمينية للحصول على الطاقة أو التحول إلى كربوهيدرات ودهون

إذا لم تستخدم الأحماض الأمينية لبناء البروتينات أو المركبات الحاوية على النيتروجين فإنها تؤكسد للحصول على الطاقة أو تحول إلى جلوكوز أو أحماض

دهنية لتخزن. والخطوة الأولى فى الحالتين هى نزع مجموعة الأمين منها. ويتم ذلك من خلال نوعين من التفاعلات هما نزع مجموعة الأمين أو نقلها :

أـ نزع مجموعة الأمين التأكسدى *Oxidative Deamination*

تحدث هذه العملية فى الكبد. وفى تفاعلاتها يتم فصل مجموعة الأمين NH_2 من جزئ الحامض الأمينى. وبذا يتحول إلى حامض كيتونى (عضوى)، وتتحرر مجموعة الأمين على شكل أمونيا. وقد يؤكسد الحامض الكيتونى بعد ذلك من خلال دورة كريبس، أو قد يتحول إلى جلوكوز كجزء من عملية تصنيع الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية Gluconeogenesis أو إلى دهون فى عملية تسمى تصنيع الدهون Lipogenesis. أما الأمونيا فنظراً لأنها مادة سامة فإنها تتحول إلى بولينا (يوريا) من خلال دورة اليوريا أو الأورنيثين، وتخرجها الكلى إلى خارج الجسم على هيئة بول. والصيغة العامة لكيفية نزع مجموعة الأمين من الحامض الأمينى وتكوين حامض كيتونى (عضوى) وأمونيا هى :

$$\underset{\text{Amino Acid}}{\underset{\substack{|\\ NH_2}}{\overset{\substack{COOH\\|}}{R-CH}}} + \frac{1}{2}O_2 \underset{\text{Reduction}}{\overset{\text{Oxidation}}{\rightleftharpoons}} \underset{\text{Keto (Organic) Acid}}{\overset{\substack{COOH\\|}}{R-C=O}} + \underset{\text{Ammonia}}{NH_3}$$

حامض أمينى — حامض كيتونى (عضوى) — أمونيا

ويضرب لذلك المثالان الآتيان :

ـ تحول حامض الألانين إلى حامض البيروفيك

$$\underset{\text{Alanine}}{CH_3-\underset{\underset{NH_2}{|}}{\overset{\overset{COOH}{|}}{CH}}} + \frac{1}{2}O_2 \underset{\text{Reduction}}{\overset{\text{Oxidation}}{\rightleftharpoons}} \underset{\text{Pyruvic Acid}}{CH_3-\overset{\overset{COOH}{|}}{C}=O} + \underset{\text{Ammonia}}{NH_3}$$

ألانين — حامض البيروفيك — أمونيا

ـ تحول حامض الجلوتاميك إلى حامض ألفا كيتوجلوتاريك

$$\underset{\text{Glutamic Acid}}{HOOC-CH_2-CH_2-\underset{\underset{NH_2}{|}}{\overset{\overset{COOH}{|}}{CH}}} + \frac{1}{2}O_2 \underset{\substack{\text{Reduction} \\ \text{Glutamic Acid} \\ \text{Dehydrogenase}}}{\overset{\text{Oxidation}}{\rightleftharpoons}} \underset{\propto\text{-Ketoglutaric Acid}}{HOOC-CH_2-CH_2-\overset{\overset{COOH}{|}}{C}=O} + \underset{\text{Ammonia}}{NH_3}$$

حامض الجلوتاميك — حامض ألفا - كيتوجلوتاريك — أمونيا

ويلاحظ أن هذا التفاعل عكوس. لذا يمكن استخدامه فى الاتجاه المعاكس لصنع حامض الجلوتاميك من الأمونيا وحامض ألفا كيتوجلوتاريك. ولاتملك الخلايا إنزيمات مشابهة لإنزيم حامض الجلوتاميك ديهيدروجينيز تحفز مثل هذا التفاعل لبقية الأحماض الأمينية. وهنا يأتى دور تفاعلات نقل مجموعة الأمين التى تمكن الخلية من أكسدة معظم الأحماض الأمينية الأخرى.

ب ـ نقل مجموعة الأمين *Transamination*

فى هذه التفاعلات يجرى تبادل مجموعتى الأمين والكيتون بين حامض أمينى وآخر كيتونى. ويضرب المثال الآتى لعملية نقل مجموعة الأمين :

$$\begin{array}{c} COOH \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CHNH_2 \\ | \\ COOH \end{array} + \begin{array}{c} COOH \\ | \\ C{=}O \\ | \\ CH_2 \\ | \\ COOH \end{array} \xrightarrow{\text{Transaminase Pyridoxal Phosphate}} \begin{array}{c} COOH \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CH_2 \\ | \\ C{=}O \\ | \\ COOH \end{array} + \begin{array}{c} COOH \\ | \\ CHNH_2 \\ | \\ CH_2 \\ | \\ COOH \end{array}$$

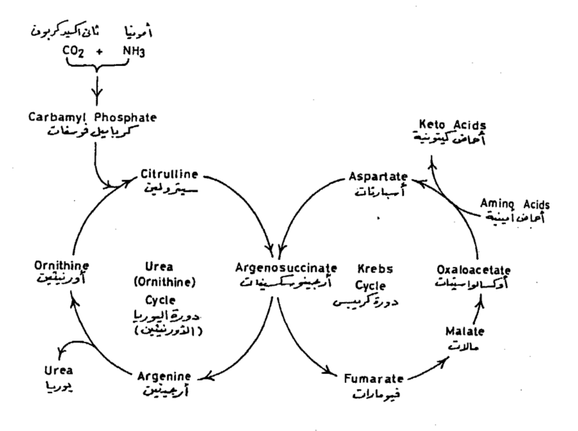
Glutamic Acid حامض الجلوتاميك — Oxaloacetic Acid حامض الأوكسالوأسيتك — α-Ketoglutaric Acid حامض α – كيتوجلوتاريك — Asparatic Acid حامض الأسبارتيك

هنا لاحظنا نقل مجموعة الأمين من حامض أمينى لتحل محل مجموعة الكيتون الموجودة فى حامض كيتونى.

دورة البولينا (اليوريا) أو الأورنيثين *Urea or Ornithine Cycle*

نظراً لأن الأمونيا الناتجة عن عملية نزع الأمين من الأحماض الأمينية هى من المركبات السامة للخلايا فلذلك تعمد خلايا الكبد إلى تحويلها إلى مركب غير سام هو البولينا، ينقله الدم إلى الكليتين. ويتم التخلص منه مع البول. ويجرى صنع البولينا خلال مجموعة من التفاعلات تعرف بدورة البولينا أو الأورنيثين، حيث أن خطواتها تبدأ باستهلاك الحامض الأمينى أورنيثين وتنتهى بتكون الحامض نفسه. وللدخول فى تفاعلات هذا المسار الدائرى يتم أولاً اتحاد جزىء من الأمونيا مع ثانى أكسيد الكربون المتوفر فى الأنسجة. وينتج مركب يسمى كرباميل فوسفات Carbamyl Phosphate، يتحد مع الحامض الأمينى سيترولين. ويحدث هذان التفاعلان فى الميتوكوندريا. أما بقية تفاعلات الدورة فتتم فى السيتوبلازم حيث ينتقل السيترولين إلى السيتوبلازم. وهناك تنتقل إليه مجموعة أمين من الأسبارتات من خلال اتحاد السيترولين مع الأسبارتات لتكوين أرجينوسكسينات. ثم ينفصل الأرجينوسكسينات إلى فيومارات وهو

الهيكل الكربونى من الأسبارتات، بينما تبقى مجموعة الأمين مرتبطة بهيكل السيترولين الذى يتحول إلى أرجينين سرعان ما ينشطر إلى بولينا وأورنيثين بينما يؤكسد الفيومارات فى دورة كريبس إلى الأكسالوأسيتات. والتفاعلات الأخيرة فى دورة كريبس وتفاعلات نقل مجموعة الأمين تجعل من الممكن إعادة تحول الفيومارات إلى أسبارتات. وهذا يجعل من الممكن لمجموعة الأمين من أى حامض أمينى أن تنتهى بتكون البولينا. ويوضح شكل (١٢) تفاعلات دورة البولينا أو دورة الأورنيثين.



شكل (١٢)

دورة البولينا (اليوريا) أو الأورنيثين Urea or Ornithine Cycle

وإعادة تكون الأسبارتات من خلال دورة كريبس وتفاعل نقل مجموعة الأمين

ثالثا : أيض الدهون

تختزن الدهون الممتصة فى النسيج الدهنى Adipose Tissue . وحين تحتاج خلايا الجسم الأخرى إلى شئ من الطاقة يقوم إنزيم خاص بفك الروابط الإسترية فى جزيئات الدهون فتتحرر كمية من الأحماض الدهنية، ينقلها الدم إلى الخلايا المختلفة (خاصة خلايا الكبد) التى تقوم بأكسدتها للحصول على الطاقة. والنسيج الدهنى ذو فعالية أيضية عالية، وتنتشر فيه الأوعية الدموية وتكون جزيئات الدهون فيه فى حالة تقلب مستمر بين ارتفاع وانخفاض.

ويزداد الطلب على الدهون كمصدر للطاقة عندما يهبط تركيز الجلوكوز فى الدم، وفى حالات التوتر والاجهاد أيضا. وفى أى من الحالتين يستقبل النسيج الدهنى إشارات هرمونية تحث الخلايا على الإسراع فى تميؤ الدهون، إلى أحماض دهنية وجليسرول ونقلها إلى الدم ثم ينقلها الدم إلى الخلايا المستهلكة. ولتفصيل هذه العملية يحدث الآتى :

عندما يبدأ معدل الجلوكوز فى الدم فى الهبوط، كما هو الحال عندما تنتهى عملية الهضم ويتوقف وصول الغذاء الممتص إلى الدم فإن البنكرياس يفرز هرمون الجلوكاجون الذى يمر مع الدم إلى الكبد والنسيج الدهنى. فيبدأ الكبد فى تحويل الجليكوجين إلى جلوكوز، بينما يحلل النسيج الدهنى جزءاً من دهونه. وفى حالات التوتر والاجهاد يفرز الايبنفرين والنورابينفرين من نهايات الأعصاب السمبثاوية ومن الغدتين الكظريتين فيعملان فى النسيج الدهنى والكبد ما يفعله هرمون الجلوكاجون. والآلية التى تعمل بها هذه الهرمونات متشابهة. إذ يؤدى ارتباطها مع المستقبلات الخاصة بها على سطح الخلية إلى تنشيط إنزيم يدعى أدينيل سيكليز Adenyl Cyclase يعمل على تحويل ATP إلى cAMP، ويقوم هذا بدوره بتنشيط إنزيم آخر يسمى بروتين كينيز Protein Kinase يحفز إضافة مجموعة الفوسفات إلى بعض البروتينات

فى الخلية، ومنها إنزيم الليبيز الذى يتحول عندئذ إلى شكل فعال، ويحفز إنزيم الليبيز بعد هذا التنشيط تفاعل تميؤ الدهون الذى يفك الروابط الإسترية فيها. ويوصف إنزيم الليبيز هذا بالإنزيم الحساس للهرمونات Hormone Sensitive Lipase تمييزاً له عن إنزيم الليبيز الذى يفرزه البنكرياس إلى الأمعاء أثناء الهضم.

مصير الجليسرول

ينتقل الجليسرول الناتج عن تحلل الدهون فى النسيج الدهنى بواسطة الدم إلى خلايا الكبد حيث تضاف إليه مجموعة فوسفات على ذرة الكربون الثالثة (Phosphorylation)، ثم يؤكسد الناتج إلى ثنائى هيدروكسى أسيتون فوسفات، كما فى التفاعلات التالية :

$$\begin{array}{c} CH_2OH_2\ OH \\ | \\ HO-CH \\ | \\ CH_2OH \end{array} \xrightarrow{ATP \quad ADP} \begin{array}{c} CH_2\ OH \\ | \\ HO-CH \\ | \\ CH_2O\ PO_3^{2-} \end{array} \xrightarrow{NAD^+ \quad NADH+H^+} \begin{array}{c} CH_2OH \\ | \\ O=C \\ | \\ CH_2\ OPO_3^{2-} \end{array}$$

Glycerol — جليسرول

Glycerol-3-Phosphate — جليسرول-٣-فوسفات

Dihydroxy Acetone Phosph... — ثنائى هيدروكسى أسيتون فوسفات

وثنائى هيدروكسى أسيتون فوسفات هو أحد المركبات الوسطية فى مسار تحلل الجلوكوز Glycolysis وكذلك فى مسار تصنيع الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية Gluconeogenesis. لذلك يمكن الاستفادة منه لتصنيع الجلوكوز أو حامض البيروفيك، وذلك حسب حاجة الجسم.

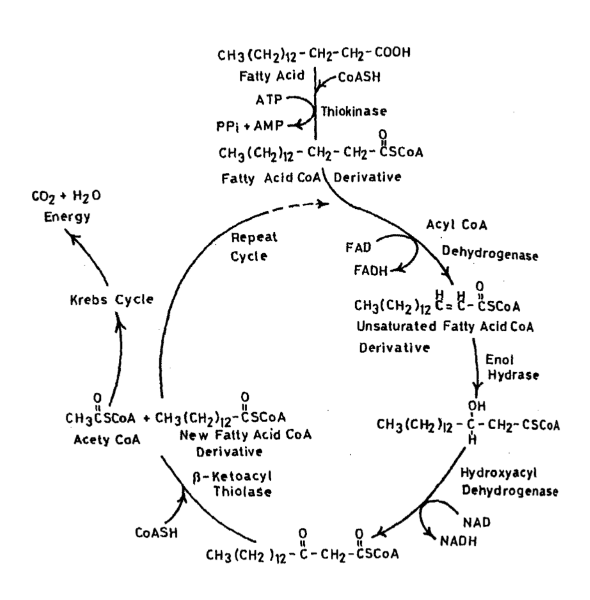
مصير الأحماض الدهنية

تتأكسد الأحماض الدهنية من خلال مسار أيضى يحدث فى الميتوكوندريا

بسلسلة من التفاعلات التى تتطلب إنزيمات عديدة مكونة فى النهاية أستيل كوA Acetyl CoA الذى إما يدخل فى دورة كريبس ليتأكسد إلى ثانى أكسيد الكربون والماء معطياً كمية كبيرة من الطاقة أو يختزن كأجسام كيتونية Ketone Bodies.

وقد أقرت أكسدة الأحماض الدهنية من خلال نظرية أفترضها أولاً العالم كنوب Knoop عام ١٩٠٤، وأسماها أكسدة بيتا Beta Oxidation. وقد اعتمدت نظرية كنوب على مبدأ أن الأحماض الدهنية تؤكسد عند ذرة الكربون رقم بيتا Beta-Carbon Atom، مع الانشطار إلي مركبين كربونيين. وفى هذا ينشطر حامض الخليك من الحامض الدهنى الطويل فى كل مرحلة من مراحل التفاعل مما ينتج فى النهاية حامضاً يتكون من ذرتى كربون. ثم أكدت هذه النظرية فى الأعوام الأخيرة فى شقها الأول الذى يتعلق بحدوث الأكسدة للأحماض الدهنية وموقعها. ولكن بدلاً من افتراض تكون حامض الخليك تتجزأ الأحماض الدهنية إلى جزيئات ذات ذرتى كربون هى أستيل Acetyl التى تتحد مع CoA لتكون أستيل كوA Acetyl CoA. وتتم الأكسدة على ذرة الكربون الثالثة من الحامض الدهنى (كربون بيتا) فتتحول مجموعة الميثيلين CH_2 إلى مجموعة كيتون c=o ثم تنشطر الرابطة بين ذرتى الكربون الثانية والثالثة المؤكسدة فينتج أستيل كوA وحامض دهنى أقصر من الحامض الأصلى بذرتى كربون. وتتكرر تفاعلات الأكسدة ثم الانشطار عدداً من المرات حتى يتحول الحامض الدهنى كلياً إلى عدد من جزيئات أستيل كو A يساوى نصف عدد ذرات الكربون فى الحامض الأصلى.

وتتضمن عملية أكسدة حامض دهنى طويل السلسلة إلى مركب كوA ناقصاً ذرتى كربون وجزئ من أستيل كو A عدة تفاعلات مذكورة فى شكل (١٣). ويعمل التفاعل الأول على تنشيط جزئ الحامض الدهنى بتحويله إلى مركب كو A. ثم يأتى إنزيم ديهيدروجينيز Dehydrogenase فى وجود FAD



شكل (١٣)

أكسدة الأحماض الدهنية (أكسدة بيتا β-Oxidation)

الذى يعمل ككوإنزيم فيحول الحامض الدهنى إلى غير مشبع. ثم يقوم إنزيم إينول هيدريز Enol Hydrase بعملية تميؤ. ثم تؤكسد مجموعة الهيدروكسيل التى على ذرة كربون بيتا بواسطة إنزيم ديهيدروجينيز فى وجود NAD الذى يعمل ككوإنزيم. والمركب الناتج ينشطر إلى جزيئين : جزئ حامض دهنى ناقصاً ذرتى كربون عن الحامض الأصلى وجزئ أستيل كو A. ثم يدخل الأستيل كو A دورة كريبس ليتأكسد إلى ثانى أكسيد الكربون وماء وطاقة أو يختزن على هيئة أجسام كيتونية كما ذكر من قبل. أما الحامض الدهنى الجديد فإنه يعيد نفس دورة أكسدة بيتا لكى يفقد فى النهاية جزئ أستيل كو A ثم تتكرر الدورة وتتكرر حتى يتأكسد الحامض الدهنى تماماً. فحامض البالميتك Palmitic Acid مثلاً يحتاج إلى ٧ دورات من أكسدة بيتا ليكون ٨ مول من أستيل كو A. وخلال ذلك يتكون ٧ مول من FADH و ٧ مول من NADH. وحينما تدخل هذه المركبات سلسلة نقل الالكترون Electron Transport Chain فإنها تنتج من الأدينوسين ثلاثى الفوسفات ما قيمته :

7 FADH →	14 ATP	
7 NADH →	21 ATP	
	35 ATP	
	- 1 ATP	Used in first reaction
	34 ATP	

الأجسام الكيتونية *Ketone Bodies*

يطلق هذا الإسم على ثلاثة مركبات هى الأسيتون والأسيتو أسيتات وبيتا هيدروكسى بيوتيرات. وتصنع هذه المركبات فى ميتوكوندريا خلايا الكبد بعملية تسمى تكوين الكيتونات Ketogenesis ، وذلك ابتداءاً من أستيل كو A

الذى ينتج عن الأكسدة غير الكاملة للأحماض الدهنية وبعض الأحماض الأمينية. وتلخص التفاعلات التالية كيفية صنع الأجسام الكيتونية من أستيل كو A :

$$CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CoA \longrightarrow CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_2 \longrightarrow \begin{cases} CH_3-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-CH_3 \\ CH_3-\overset{OH}{\overset{|}{C}H}-CH_2-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O^- \end{cases}$$

Acetyl Co A — أستيل كو A

Acetoacetate — أسيتوأسيتات

Acetone — أسيتون

ß- Hydroxy Butyrate — بيتا ـ هيدروكسى بيوتيرات

هذا ويمكن أن تؤكسد الأجسام الكيتونية من خلال دورة كريبس إلى ثانى أكسيد كربون وماء مع انطلاق الطاقة. أما فى المريض فإن الأجسام الكيتونية تخرج مع البول.

ويزداد معدل تكون هذه المركبات فى حالتى الصيام الطويل ومرض السكر. والسبب فى ذلك يعود إلى أن الأكسدة الكاملة لأستيل كو A خلال دورة كريبس تتطلب وجود الأكسالو أسيتات الذى يتكثف مع أستيل كو A لكى يبدأ أول تفاعلات الدورة. ففى فترة الصيام الطويل يتجه الكبد إلى تحويل الأكسالوأسيتات إلى جلوكوز لإرساله إلى الأنسجة التى تعتمد عليه فى غذائها. لذلك لاتكتمل أكسدة الأحماض الدهنية فى الكبد لعدم إمكانية الاستمرار فى تفاعلات دورة كريبس، مما يجعل أستيل كو A يتراكم فى ميتوكوندريا الخلايا الكبدية، ثم يوجه نحو تكوين الأجسام الكيتونية. ويصاحب عدم العناية بعلاج مرض السكر نقص فى تركيز الأكسالوأسيتات، مما يرفع معدل انتاج الأجسام الكيتونية. وتنتقل الأجسام الكيتونية بعد تكوينها إلى الدم. فتستقبلها الأنسجة التى تعيد تحويل اثنين منها فقط، الأسيتوأسيتات وبيتا هيدروكسى بيوتيرات، إلى أستيل كو A. وفى خلايا العضلات والكليتين يؤكسد أستيل كو A للحصول على الطاقة. ومع أن المخ فى الأحوال العادية لايستخدم هذه

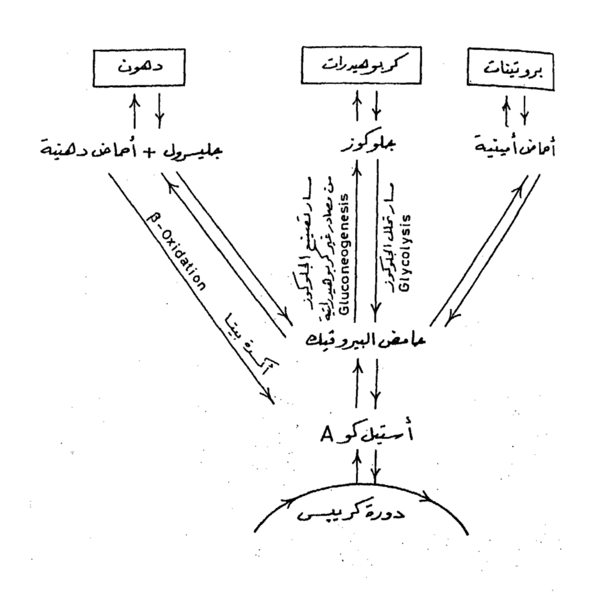
المركبات كمصدر للطاقة، إلا أنه، وبعد أيام من الصيام المستمر، يمكنه ذلك. وفى هذا فائدة كبيرة. إذ أن الجلوكوز، مصدر الطاقة الوحيد للمخ فى الظروف العادية، يشح بعد نفاد مخزونه الذى لايكفى سوى يوم أو بعض يوم. وهكذا فإن اتجاه المخ إلى استخدام الأجسام الكيتونية كمصدر آخر للطاقة يخفف كثيراً من الطلب على الجلوكوز الذى لايمكن أن يصنع إلا من الجليسرول فى الدهون أو من بعض الأحماض الأمينية.

وتؤدى زيادة تركيز الأجسام الكيتونية فى الدم إلى مايعرف بالحامضية الكيتونية Ketoacidosis. فهذه المركبات الحامضية تؤدى إلى زيادة حموضة الدم (انخفاض قيمة pH). كما أن التخلص منها فى البول مع الصوديوم يؤدى إلى حدوث الجفاف. وكثيراً ما يتفاقم هذا الوضع فى حالات مرض السكر غير المنضبط، ليؤدى بالمريض إلى فقد الوعى.

طاحونة الأيض *Metabolic Mill*

لاتقتصر دورة كريبس على حرق الجلوكوز إلى ثانى أكسيد الكربون وماء وخزن ما يتحرر من طاقة فى جزيئات أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP، وإنما تتعدى ذلك إلى كونها وسيلة لاستغلال الطاقة الكامنة فى الأحماض الأمينية والأحماض الدهنية. كما أنها وسيلة لصنع البروتين والدهون من الكربوهيدرات أو لصنع الكربوهيدرات من البروتين والدهون (شكل ١٤).

وتهيئ دورة كريبس أيضا الوسيلة الضرورية لتصنيع المواد البروتينية والدهنية من المواد الأولية التى تتوفر بالخلية. فمثلا يمكن صنع مواد بروتينية من الأحماض العضوية المشتركة فى دورة كريبس وذلك باتحادها مع الأمونيا لتكوين أحماض أمينية ومن ثم مواد بروتينية (أنظر تفاعلات نزع مجموعة الأمين التأكسدى Oxidative Deamination). ومثلاً المواد الكربوهيدراتية الزائدة عن الحاجة تتحول إلى دهون بتحولها أولاً إلى أستيل كوA ثم إلى



شكل (١٤)

طاحونة الأيض

أحماض دهنية تتحد مع الجليسرول. كما أن السكسينيل كو A (المركب الوسطى فى دورة كريبس) يعد المادة الأولية لصنع جزئ الهيم الداخل فى تكوين الهيموجلوبين. ومن حامض الأكسالوأسيتك يصنع الجلوكوز (أنظر تفاعلات تصنيع الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية شكل ١٠).

هذا ويمكن تلخيص العلاقة بين نواتج أيض المواد الغذائية المختلفة فى الشكل (١٥).

أهمية الكبد

ترجع أهمية الكبد إلى وظائفه العديدة التى يقوم بها. وتتلخص فيمايلى :

١ـ الكبد مركز أيض الكربوهيدرات والبروتينات والدهون، إذ أنه :

- يخزن الزائد من الجلوكوز على صورة جليكوجين ثم يحوله إلى جلوكوز حين الحاجة.
- يحول السكاكر الأحادية غير الجلوكوز كالفركتوز والجلاكتوز إلى جلوكوز.
- ينزع الأمونيا من الأحماض الأمينية الزائدة ليحولها إلى أحماض عضوية تؤكسد من خلال دورة كريبس أو تتحول إى جلوكوز كجزء من عملية تصنيع الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية أو تتحول إلى دهون ثم إلى جليكوجين يختزنه. أما الأمونيا فتتحول إلى بولينا (يوريا) تنتقل إلى الكليتين ومنها إلى خارج الجسم.
- يقوم بدور هام فى عمليات بناء البروتينات الهامة مثل الفيبرينوجين والبروثرومبين والهيبارين والألبيومين.
- فيه تتأكسد الأحماض الدهنية وتتفسفر. ومن الأحماض الدهنية ومن البروتينات تصنع الأجسام الكيتونية.
- يفرز الصفراء التى تختزن فى الحوصلة الصفراوية وتساعد على هضم الدهون وامتصاصها.

ـ فيه يصنع الكوليستيرول.

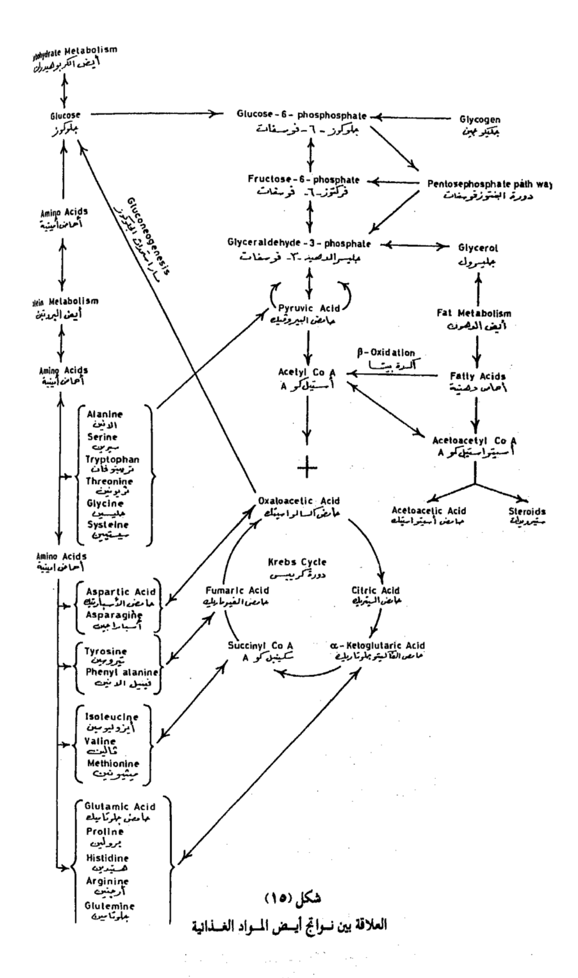
٢ـ يختزن الحديد الناتج عن عملية هدم خلايا الدم الحمراء المستهلكة، وذلك على هيئة مادة تسمى فيريتين Ferritin.

٣ـ يصنع ويختزن بعض الفيتامينات مثل فيتامين A. ويختزن بعض أنواع فيتامين B.

٤ـ يقوم بإزالة سمية بعض المواد السامة وتحويلها إلى مواد غير سامة، تفرز إما مع الصفراء كالزئبق أو فى البول كالإندوكسيل وحامض الهيبيوريك والفينول أو فى اللعاب كالثيوسيانات. وأوضح الأمثلة فى ذلك مادة الإندول Indole السامة التى تتكون فى الأمعاء الغليظة نتيجة لعفن البروتينات. فيعمل الكبد على تحويلها إلى مادة غير سامة يتم التخلص منها عن طريق البول. أما حامض الهيبيوريك وهو حامض عديم الضرر فيكونه الكبد للتخلص من حامض البنزويك السام، وذلك عن طريق ارتباطه بالجليسين Glycine. وأما الثيوسيانات وهى مادة غير سامة فيكونها الكبد بأكسدة السيانيد السام للتخلص منه.

٥ـ يقوم بادخار السموم وتخزينها ثم التخلص منها بمقادير جزئية ليست لها أضرار.

وللكبد وظائف أخرى أهمها أنه يعتبر أحد الأعضاء المولدة للدم أثناء المرحلة الجنينية. أما بعد الولادة فيصبح له دور غير مباشر عن طريق ادخار وخزن العامل المضاد لفقر الدم الخبيث وهو فيتامين B_{12} والحديد والنحاس والبوتاسيوم والكوبلت.



شكل (١٥)

العلاقة بين نـواتج أيـض المـواد الغـذائية

الفصل السابع

دوران الـــــدم

Blood Circulation

الفصل السابع

دوران الدم

الجهاز الدورى هو الجهاز الذى يتكفل بدوران الدم فى الجسم. كما أنه هو المسؤول عن نقل الأكسجين والغذاء ونواتج الاخراج بين أجزاء الجسم المختلفة. وهو يتألف من ثلاثة عناصر رئيسية هى الدم والقلب والأوعية الدموية.

الدم

الدم Blood عبارة عن نسيج يتكون من مجموعة متنوعة من الخلايا التى تسبح فى سائل لزج هو البلازما. وتقدر كمية الدم فى جسم الانسان بمعدل ٧٠ مل/كجم أو ٨٪ من وزن الجسم تقريبا، أى فى الانسان البالغ الطبيعى يتراوح حجم الدم من ٤٫٥ إلى ٥ لتر.

وظائف الدم

الوظيفة الأساسية للدم هى المساعدة فى الحفاظ على الحالة الفيزيائية والكيميائية للمحيط الداخلى للخلايا ثابتة. ويسمى هذا بالاستقرار الذاتى Homeostasis. ولكى يتم هذا الأمر فإن على الدم أن يدور طوال فترة الحياة. وعند مرور الدم فى كل من الرئتين الأمعاء وبعض الأنسجة الأخرى يقوم بعدد من الأدوار الحيوية الهامة التى تكفل ضمان الاستقرار الذاتى للجسم، وهى :

١ـ نقل الأكسجين من الرئتين إلى الأنسجة ثم نقل ثانى أكسيد الكربون من الأنسجة إلى الخلايا ومنها إلى خارج الجسم.

٢ـ نقل العناصر الغذائية كالجلوكوز والأحماض الأمينية والدهون والفيتامينات والمعادن من الأمعاء إلى مختلف أنسجة الجسم.

٣ـ التخلص من الفضلات الأيضية، خاصة البولينا (اليوريا) وحامض البوليك (حامض اليوريك) إلى خارج الجسم عن طريق أعضاء الاخراج خاصة الكليتين.

٤ـ المحافظة على توازن حرارة الجسم، وذلك من خلال آليتين هما :

ـ آلية فسيولوجية : يقوم الدم بنقل المعلومات عن درجة حرارة الجسم إلى منطقة تحت السرير البصرى فى المخ، فتعمل هذه المنطقة على حفظ حرارة الجسم عند مستوى طبيعى. ففى حالة البرد تضيق الشرينات الدموية فيقل فقدان حرارة الجسم للخارج، بينما فى الحر يساعد الدم على فقدان حرارة الجسم للخارج بتوسيع الأوعية الدموية.

ـ آلية فيزيائية : الحرارة النوعية للدم عالية. وهو يقوم بخزن كمية من الحرارة يبدأ بإطلاقها فى حالات البرد الشديد. وهو أيضا يتصف بقدرته العالية على التوصيل High Conductivity، فينقل الحرارة بسرعة من الأنسجة العميقة إلى سطح الجسم، مما يقى تلك الأنسجة العميقة من التلف بفعل شدة الحرارة. كما أنه أيضاً يتصف بارتفاع حرارته الكامنة للتبخير High Latent Heat of Evaporation، إذ يحتاج إلى كمية كبيرة من الحرارة لكى يتبخر. وبما أن ماء الجسم يتبخر باستمرار فى الرئتين والجلد أثناء اشتداد الحرارة فإن ذلك يؤدى إلى فقدان كمية كبيرة من حرارة الجسم فتنخفض حرارته ويبرد.

٥ـ تنظيم الأيض من خلال نقلة للهرمونات والإنزيمات والفيتامينات.

٦ـ الدفاع عن الجسم، وذلك بواسطة آليتين هما :

ـ تكوين الأجسام المضادة Antibodies ومضادات السموم Antitoxins التى تقوم بحماية الجسم ضد الجراثيم والسموم.

ـ البلعمة Phagocytosis التى من خلالها تقوم الخلايا البيضاء بابتلاع الجراثيم.

٧ـ وقاية الجسم من النزف، وذلك بعملية التخثر. وبذا تتم المحافظة على كمية الدم الطبيعية فى الجسم.

٨ـ الحفاظ على توازن الماء، إذ يقوم الدم بنقل السائل الفائض من الأنسجة إلى الكليتين والغدد العرقية لطرده خارج الجسم. ممايؤدى إلى توازن الماء داخل الجسم.

٩ـ تنظيم افراز الهرمونات. فعندما يرتفع معدل الهرمون فى الدم عن المعدل الطبيعى يقل افرازه. وعندما يقل معدله يزيد افرازه. وتدعى هذه العملية التغذية العكسية Feed-Back.

مكونات الدم

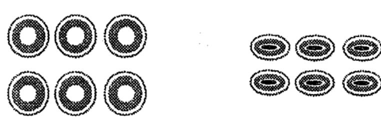
يتكون الدم من مكونات خلوية وأخرى لا خلوية. وتتألف المكونات الخلوية من خلايا الدم الحمراء وخلايا الدم البيضاء، بينما تتألف المكونات اللاخلوية من مادة سائلة هى البلازما وجسيمات صغيرة يطلق عليها الصفيحات الدموية.

أولاً : المكونات الخلوية

١ـ خلايا الدم الحمراء *Red Blood Cells or Erythrocytes*

خلايا الدم الحمراء فى الفقاريات عدا الثدييات بيضاوية الشكل محدبة

السطحين وتحتوى على أنوية. لكنها فى الثدييات مستديرة الشكل مقعرة السطحين وبدون أنوية، ماعدا فى الجمال فهى محدبة السطحين (شكل ١٦). وهى أيضا بدون جهاز جولجى أو ميتوكوندريا أو شبكة اندوبلازمية أو أجسام مركزية. وبسبب فقدان خلية الدم الحمراء للنواة فهى لاتتكاثر. وهى تتكون أثناء المرحلة الجنينية فى الطحال والكبد والعقد اللمفية. وبعد الولادة تتكون فى نخاع العظام بالجمجمة والعمود الفقرى والأطراف والقص والضلوع.



خلايا الدم الحمراء فى الفقاريات عدا الثدييات　　خلايا الدم الحمراء فى الثدييات عدا الجمال

شكل (١٦)
خلايا الدم الحمراء

وتتركب خلية الدم الحمراء أساساً من صبغ الهيموجلوبين الذى هو عبارة عن بروتين يتألف من أربع سلاسل من عديد الببتيد ترتبط بكل منها ذرة حديد. وتبلغ نسبة الهيموجلوبين عند الرجل مابين ١٤ـ١٦ جرام/١٠٠ مل من الدم وعند المرأة مابين ١٣ـ١٥ جرام/ ١٠٠ مل من الدم. ويتميز الهيموجلوبين بأن له القدرة على الارتباط بالأكسجين فى الرئتين، لكن يتخلى عنه فى خلايا الأنسجة حيث تحتاجه الخلايا أكثر.

وإذا وضعت خلايا الدم الحمراء (قطرة من الدم) فى محلول ملحى مخفف أى متعادل الضغط مع البلازما أى متساوى الأسموزية Isosmotic ٠,٩ ٪ (كلوريد الصوديوم) يبقى حجم خلايا الدم الحمراء ثابتاً. وإذا قل تركيز المحلول عن ذلك، أى صار منخفض الأسموزية Hyposmotic (٠,٦ ٪ كلوريد الصوديوم) يزيد ماء المحلول ويدخل هذا الماء إلى خلايا الدم الحمراء فتكبر أحجامها

وتصبح أشكالها كروية. وإذا وضعت خلايا الدم الحمراء فى محلول يقل تركيزه عن ذلك (مثلا ٤ر٠ ٪ كلوريد الصوديوم) أو حتى فى ماء مقطر فإن الماء يدخل إلى الخلية أكثر وأكثر. ونظراً لأن جدران خلايا الدم الحمراء ليست مرنة جداً فإن الماء الداخل بزيادة يؤدى إلى حدوث ضغط هيدروستاتيكى يشد جدرانها وتتحلل وينطلق جميع الهيموجلوبين الذى بها عند تركيز ٠,٣٢ ٪. وكلما قل تركيز المحلول تدريجياً تتحلل خلايا الدم الحمراء أكثر فأكثر. أما إذا وضعت خلايا الدم الحمراء فى محلول ملحى يزيد تركيزه عن ٠,٩ ٪ أى يقل ماؤه أى يصبح عالى الأسموزية Hyperosmotic فإن ضغطه الأسموزى يزيد ويخرج الماء من خلايا الدم الحمراء فتصغر أحجامها وتنكمش. وتسمى هذه الحالة بالتسنن Crenation. أما خلايا الدم الحمراء التى توضع فى محلول من اليوريا أو كلوريد الأمونيوم ذى ضغط أسموزى أعلى من ذلك الذى لمحلول كلوريد الصوديوم ٠,٩ ٪ فإنها لاتتعرض لعملية التسنن (الانكماش) بل تتحلل. إذ أن هذه المواد لاتذيب أغشية الخلايا. ويستنتج من ذلك أن أغشية الخلايا نفاذة لجزيئات هذه المواد. ويتبع الماء هذه الجزيئات إلى داخل الخلايا فتزداد أحجامها. وتسلك هذه المواد سلوك الماء المقطر. أما مواد كالإيثر والكلوروفورم فإنها تذيب جدر الخلايا الحمراء التى تحتوى على مواد دهنية تذوب بمذيبات الدهون. لذلك فإنها تجعلها تتحلل. ولأملاح الصفراء ومادة السابونين وسموم الأفاعى والعنكبوت وبعض البكتريا وطفيل الملاريا نفس التأثير التحللى، مما يحلل معظم الهيموجلوبين المتحرر من خلايا الدم الحمراء إلى بيليروبين يطرد من قبل الكبد أو الكلى. ومما سبق يتضح أنه عند إضافة حجم من الدم بعد النزيف يجب استخدام محلول متساوى الأسموزية Isosmotic مع الدم.

وتتصف خلايا الدم الحمراء بالمرونة، لذا يسهل ضغطها مما يساعد على مرورها فى الشعيرات الدموية التى يكون قطر أى منها أقل من قطر خلية الدم الحمراء، ولو أن ذلك يسبب تمزقها. ولذا تتحطم خلايا الدم الحمراء بنسبة

هائلة جداً تصل إلى حوالى ١٥ مليون خلية فى الثانية أو حوالى مليار فى الدقيقة. ويحدث ذلك فى خلايا كوبفر فى الكبد. لكن عدداً أكبر يموت فى الطحال، لذا يسمى الطحال مقبرة خلايا الدم الحمراء. ولهذا لابد أن تتكون بنفس المعدل فى نخاع العظام المسطح كالفقرات والقص والضلوع لتعويض فقدها المستمر. إذ أنها لا تعيش سوى ١٢٠ يوماً. ويعتبر ڤيتامين B_{12} وحامض الفوليك والكوبلت عناصر ضرورية لتكوين خلايا الدم الحمراء من نخاع العظام. ويخزن عادة فى الحوصلة الصفراوية. ويحدث أحياناً نقص فى عدد خلايا الدم الحمراء أو نقص فى بناء الهيموجلوبين نتيجة لنقص عنصر الحديد بينما يستمر انتاج خلايا الدم الحمراء. لذا تنقص كمية الهيموجلوبين التى تحتويها خلايا الدم الحمراء. وعليه تصبح كمية الهيموجلوبين غير كافية لحمل الأكسجين كما ينبغى. ويؤدى هذا إلى ما يعرف بفقر الدم. لهذا لابد من تناول مواد غذائية تحتوى علي عنصر الحديد لمعالجة هذه الحالة. والإناث أكثر عرضة لنقص الحديد وبالتالى لفقر الدم، وذلك بسبب فقد كمية كبيرة منه أثناء عملية الحيض أو الحمل أو الولادة.

وعلى الرغم من فقدان النواة فإن خلية الدم الحمراء ليست خاملة أيضياً، فهى ذات أيض فعال لتحلل الجليكوجين. وعلى الرغم أيضا من فقدان الميتوكوندريا فى خلايا الدم الحمراء وبالتالى إنعدام الفسفرة التأكسدية Oxidative Phosphorylation إلا أنها تحتوى على معدلات عالية من أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP. وبصورة خاصة فإن الناتج الأكبر هو حامض ٢و٣ ثنائى فوسفوجليسريك 2, 3 Diphosphoglyceric Acid الذى يوجد بكميات ضئيلة فى معظم الأنسجة إلا خلايا الدم الحمراء حيث يعمل فيها على تسهيل انجذاب الأكسجين للهيموجلوبين.

ويتوقف عدد خلايا الدم الحمراء على عدة عوامل منها العمر والجنس والحالة الصحية والغذائية والمكان الذى يعيش فيه الكائن الحى بالنسبة لارتفاعه

أو انخفاضه عن سطح البحر. وفى المتوسط يبلغ عدد خلايا الدم الحمراء حوالى ٥,٥ مليون خلية/ مل من الدم فى الرجل. أما فى المرأة فيقل العدد إلى حوالى ٤,٥ مليون خلية/ مل من الدم. ويزداد هذا العدد عند الإقامة فى المرتفعات لمدة طويلة لكى تعمل خلايا الدم الحمراء الزائدة على تعويض النقص الحاصل فى الأكسجين فمن العوامل التى ترتبط بصنع خلايا الدم الحمراء Erythropoiesis الضغط الجزيئى للأكسجين وهو يبلغ فى الرئتين والدم الشريانى عند سطح البحر حوالى ١٠٠ مم زئبق. وفى المرتفعات العالية يقل هذا الضغط كلما ارتفعنا إلى أعلى فيعمل نقص الضغط على تنبيه نخاع العظام لكى يصنع مزيداً من خلايا الدم الحمراء. ويبلغ عدد خلايا الدم الحمراء لدى سكان المرتفعات حوالى ٧ مليون خلية / مل من الدم.

ولخلايا الدم الحمراء دورة تستغرق نحو ١٢٠ يوماً فقط، لعدم احتوائها على النواة، وبعدها تشيخ هذه الخلايا وتتهدم. عندئذ تلتهمها خلايا معينة فى الجهاز الشبكى البطانى المبطن للقنوات الوعائية واللمفية يطلق عليها الخلايا الملتهمة Phagocytic Cells أو Macrophages. وهذه الخلايا متمركزة فى الكبد ونخاع العظام والطحال. وعندما تلتهم هذه الخلايا خلايا الدم الحمراء ينطلق من الأخيرة الهيموجلوبين الذى يتحلل إلى جزءين هيم وجلوبين. ومن الهيم يتحرر الحديد أما باقى جزئ الهيم فيتحول إلى مركبى البيليروبين والبيليفردين اللذين يزالا من الكبد مع الصفراء. ويستعمل الحديد مباشرة فى تكوين خلايا دم حمراء جديدة. لكن إذا زادت كمية الحديد المتحررة مضافاً إليها كمية الحديد الموجودة فى الغذاء عن الحد المطلوب فإنه يخزن بصورة رئيسية فى الكبد وبصورة أقل فى نخاع العظام والطحال، وذلك على شكل معقد من البروتين والحديد.

وظائف خلايا الدم الحمراء

تقوم خلايا الدم الحمراء بنقل الأكسجين من الرئتين إلى خلايا الجسم، ونقل ثانى أكسيد الكربون من خلايا الجسم إلى الرئتين. وفى ذلك تحافظ على تركيز أيون الهيدروجين (pH). وتتكفل خلايا الدم الحمراء بهذه الوظائف من خلال تكوين مركبات غير ثابتة بين الهيموجلوبين والغازات التنفسية سواءً الأكسجين أو ثانى أكسيد الكربون. ويعتمد ارتباط الغاز بالهيموجلوبين على الضغط الجزيئى لهذا الغاز فى الوسط المحيط بالدم. وعليه فإن الهيموجلوبين الموجود فى دم الشديبات يتحد مع الأكسجين وينفصل عنه ثانى أكسيد الكربون عند تعرضه للجو المحيط بالشعيرات الدموية فى الرئتين حيث يكون الضغط الجزيئى للأكسجين عالياً ولثانى أكسيد الكربون منخفضاً والعكس يحدث عند تعرض الدم للجو المحيط بالخلايا والذى يكون فيه الضغط الجزيئى لثانى أكسيد الكربون الناتج من عمليات التنفس الخلوى كبيراً، بينما يكون الضغط الجزيئى للأكسجين منخفضاً جداً. وتجدر الإشارة بأن نقل الغازات التنفسية لايتوقف على الصبغ التنفسى (الهيموجلوبين) فحسب بل ان هذه الغازات قد تنتقل فى صورة ذائبة فى بلازما الدم.

والهيموجلوبين هو من المركبات التى تستطيع الارتباط بسهولة مع عدد من المواد الكيميائية بالإضافة إلى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون، مثل أول أكسيد الكربون CO وأول أكسيد النيتروجين NO. فتتكون مركبات ثنائية. وفى حالة التسمم بغاز أول أكسيد الكربون فإن جزءاً من الهيموجلوبين يتحول إلى كربوكسى هيموجلوبين Carboxyhemoglobin (Hb-CO). وهذا المركب ضار ولاوجود له عادة فى الحالة الطبيعية عند الكائن الحى. بل يوجد فى دم الانسان المدخن أو المعرض لأبخرة آلات الاحتراق الداخلى. ومن المذهل أن انجذاب الهيموجلوبين لأول أكسيد الكربون CO يبلغ ٢١٠ مرات

أكثر مما للأكسجين. أما عند اتحاد الهيموجلوبين بالأكسجين فيتكون أكسى هيموجلوبين Oxyhemoglobin ($Hb-O_2$). ويتم الاتحاد بتكوين رابطة إضافية مع الحديد دون تغيير التكافؤ. والأكسى هيموجلوبين من المركبات غير الثابتة، إذ يتفكك بسهولة إلى أكسجين وهيموجلوبين عند انخفاض الضغط الجزئى للأكسجين. أما كربوكسى هيموجلوبين فهو أكثر ثباتا من الأكسى هيموجلوبين، فلا يتفكك بسهولة إلى هيموجلوبين وأول أكسيد الكربون. ونتيجة لذلك يطرد أول أكسيد الكربون الأكسجين من الأكسى هيموجلوبين ويحتل مكانه. مما يؤدى إلى اضطرابات فى الوظيفة التنفسية وعدم إمكان وصول الأكسجين إلى الدم ليجرى نقله إلى الأعضاء. وهذا هو سبب التأثير السمى المميت لأول أكسيد الكربون. وعندما يكون الحديد فى جزء من الهيموجلوبين فى حالة ثلاثية، أى حديديك (Fe^{+++}) فإن هذا الجزء من الهيموجلوبين يتغير إلى ميتهيموجلوبين Methemoglobin. وهنا لايستطيع الأكسجين الاتحاد مع هذا الميتهيموجلوبين. وينتج هذا الميتهيموجلوبين من استعمال أدوية عديدة وأيضاً من استنشاق أحد أكاسيد النيتروجين أو أبخرة النيتروبنزين أو بعض الأكاسيد الأخرى. ووجود الميتهيموجلوبين هو عرض من أعراض التسمم بأحد المركبات المذكورة.

أ- نقل الأكسجين

ينتقل الأكسجين فى الدم فى صورتين :

- ذائبا فى البلازما

تنتقل كمية ضئيلة جداً من الأكسجين عن طريق ذوبانه في البلازما، وذلك نظراً لأن لكل غاز معامل ذوبان خاص فى كل سائل. وقد وجد أن حجم الأكسجين الذى يمكن أن ينتقل ذائباً فى البلازما عند تشبع ١٠٠ مل من الدم بالهواء لايتعدى ٠,٥ مل من الأكسجين.

- متحدا مع الهيموجلوبين

ينتقل الأكسجين أساساً فى الدم متحداً اتحاداً كيميائياً مع الهيموجلوبين، وبالذات مع الحديد مكوناً أكسى هيموجلوبين Oxyhemoglobin. وهو اتحاد ضعيف جداً وعكوس حيث يتفكك المركب الناتج عن الاتحاد بسهولة بالغة معطياً الأكسجين إلى الأنسجة. لذا تعرف عملية الاتحاد هذه بالأكسجة Oxygenation، وليست أكسدة Oxidation. ويمكن تمثيل عملية اتحاد الأكسجين مع الهيموجلوبين بالمعادلة الآتية :

$$Hb_4 + 4O_2 \rightleftharpoons Hb(O_2)_4$$

Hemoglobin	Oxygen	Oxyhemoglobin
هيموجلوبين	أكسجين	أكسى هيموجلوبين

وعند مستوى الأنسجة يتحلل الأكسجين من الأكسى هيموجلوبين ليذهب إلى خلايا الجسم. وواضح من المعادلة أن كل جزئ من الهيموجلوبين يتحد مع ٤ جزيئات من الأكسجين، وذلك نظراً لأن جزئ الهيموجلوبين يحتوى على أربع ذرات حديد. وكل ذرة حديد تتحد مع جزئ أكسجين. وبمعرفة الوزن الجزيئى للهيموجلوبين (٦٧٠٠٠) يمكننا من المعادلة حساب حجم الأكسجين الذى يتحد مع جرام واحد من الهيموجلوبين. فنجد أنه يساوى ١,٣٤ مل ٣. وتعرف كمية الأكسجين التى يحملها الدم عندما يكون الهيموجلوبين مشبعاً بالأكسجين بالسعة الأكسجينية للدم Oxygen Capacity. وهى تتراوح مابين ١٥_٢٠مل من الأكسجين لكل ١٠٠ مل من الدم.

وثمة عوامل تؤثر على مقدرة الهيموجلوبين على الاتحاد بالأكسجين. وهى تتمثل فى الآتى :

- ضغط الأكسجين

تزيد كمية الأكسجين التى تتحد بالهيموجلوبين كلما زاد ضغط

الأكسجين. ففى رئتى الانسان يتعرض الدم لأكسجين ضغطه حوالى ١٠٠ملم زئبق. وعلى هذا يتحد أكبر قدر ممكن من الأكسجين مع الهيموجلوبين. أما عندما يمر الدم فى الشعيرات الدموية بين الأنسجة حيث يكون ضغط الأكسجين منخفضاً (٥ـ٣٠ملم زئبق) فلا يستطيع الهيموجلوبين أن يحتفظ بالأكسجين المتحد معه تحت هذا الضغط المنخفض. وبذا يتحلل الأكسجين وينطلق إلى الأنسجة.

ـ درجة تركيز أيون الهيدروجين فى الدم (*pH*)

كلما زادت حموضة الدم نتيجة لوجود ثانى أكسيد الكربون أو أية أحماض أخرى نقصت قدرة الهيموجلوبين على الاتحاد بالأكسجين.

ـ معدل الأملاح بالدم

تؤثر الأملاح المختلفة على قدرة الهيموجلوبين على الاتحاد مع الأكسجين. وعليه فقد وجد أن درجة تشبع الهيموجلوبين بالأكسجين تكون أعلى فى وجود كلوريد البوتاسيوم منه فى وجود كلوريد الصوديوم.

ـ تغير درجة الحرارة

يقلل ارتفاع درجة الحرارة من قدرة الهيموجلوبين على الاتحاد بالأكسجين. لكن هذا العامل ذا تأثير فقط فى الحيوانات متغيرة الحرارة. وليس له أهمية فى الحيوانات ثابتة الحرارة.

ب ـ نقل ثانى أكسيد الكربون

ينتقل ثانى أكسيد الكربون فى الدم فى ثلاث صور :

ـ ذائبا فى البلازما

ويحدث ذلك بنسبة بسيطة لاتتعدى ٥ ٪ من الحجم الكلى للغاز حيث

يذوب الغاز فى الماء مكوناً حامض الكربونيك. وسرعان ما يتأين هذا الحامض فى البلازما إلى أيونات البيكربونات السالبة وأيونات الهيدروجين الموجبة:

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+$$

Carbon Dioxide	Water	Carbonic Acid	Bicarbonate	Hydrogen
ثانى أكسيد الكربون	ماء	حامض الكربونيك	بيكربونات	هيدروجين

- متحداً مع الهيموجلوبين

ينتقل حوالى ٤٥ ٪ من حجم ثانى أكسيد الكربون عن طريق الاتحاد مع الهيموجلوبين. لكن طريقة اتحاده تختلف عن طريقة اتحاد الأكسجين مع الهيموجلوبين حيث يتحد غاز ثانى أكسيد الكربون مع مجموعات الأمين الموجودة فى الجزء البروتينى للهيموجلوبين مكوناً ما يعرف باسم كاربامينو هيموجلوبين Carbaminohemoglobin الذى يتفكك عندما يصل الدم إلى الرئتين، معطياً ثانى أكسيد الكربون الذى يخرج مع هواء الزفير إلى الخارج.

- على هيئة بيكربونات غير عضوية

ينتقل ٥٠ ٪ من الحجم الكلى لغاز ثانى أكسيد الكربون بهذه الطريقة. وهنا يدخل ثانى أكسيد الكربون إلى خلايا الدم الحمراء فيتحد بسرعة مع الماء مكوناً حامض الكربونيك فى وجود إنزيم كربونيك أنهيدريز Carbonic Anhydrase المتوافر فى خلايا الدم الحمراء بكثرة ثم سرعان ما يتأين هذا الحامض المتكون داخل خلايا الدم الحمراء إلى أيونات البيكربونات السالبة وأيونات الهيدروجين الموجبة :

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons HCO_3^- + H^+$$

Carbon Dioxide	Water	Carbonic Acid	Bicarbonate	Hydrogen
ثانى أكسيد الكربون	ماء	حامض الكربونيك	بيكربونات	هيدروجين

ثم تتحد أيونات الهيدروجين الموجبة مع الهيموجلوبين محولة إياه إلى هيموجلوبين مختزل Reduced Hemoglobin (HHb). وعندما يزداد تركيز أيونات البيكربونات بداخل الخلايا الحمراء فإنها تنتشر إلى البلازما. ونتيجة لهذا الانتشار يختل التوازن الأيونى داخل وخارج الخلايا الحمراء، مما يؤدى إلى دخول أيونات سالبة معادلة للأيونات التى خرجت من الخلايا الحمراء. هذه الأيونات هى أيونات الكلوريد (Cl^-) السالبة. ويعرف هذا باسم الانحراف الكلوريدى Chloride Shift. وفى البلازما تتحد أيونات البيكربونات السالبة مع أيونات الصوديوم أو البوتاسيوم الموجبة مكونة بيكربونات الصوديوم أو البوتاسيوم. وعند وصول الدم المحمل بالبيكربونات إلى الرئتين حيث يقل فيهما تركيز ثانى أكسيد الكربون تتفكك الأملاح المحتوى عليها. ولما كان انطلاق ثانى أكسيد الكربون من البيكربونات يستلزم وجود إنزيم الكربونيك انهيدريز الذى يتوافر بكثرة فى خلايا الدم الحمراء فإن البيكربونات تدخل إلى خلايا الدم الحمراء. وهناك تتحلل بفعل الإنزيم إلى ثانى أكسيد الكربون وماء. ويخرج ثانى أكسيد الكربون من الخلايا الحمراء إلى البلازما. ومنها إلى الحويصلات الهوائية ثم إلى الخارج.

٢ـ خلايا الدم البيضاء *White Blood Cells*

تختلف خلايا الدم البيضاء عن خلايا الدم الحمراء فى جميع الصفات والوظائف. فهى لا لون لها، وسميت بيضاء لعدم احتوائها على الهيموجلوبين. وهى تحتوى على أنوية، لذا فلها القدرة على التكاثر والانقسام. وهى أكبر حجماً من خلايا الدم الحمراء. وبينما لاتخرج الخلايا الحمراء من البلازما فإن الخلايا البيضاء تعبر من الدم وتتسلل من خلال جدران الأوعية الدموية إلى أماكن أخرى لكى تمارس نشاطها، خاصة فى حالات الالتهاب. والخلايا البيضاء أقل عدداً من نظائرها الخلايا الحمراء. إذ يبلغ معدلها الطبيعى فى الدم حوالى ٧٠٠٠ خلية/مل من الدم. ويزداد عددها فى الحالات المرضية أ،

إصابة الجسم بميكروبات جرثومية. هذا وتبقى خلايا الدم البيضاء فى الدم حوالى ٣ـ٤ أيام لكن عمرها قد يصل إلى عام كامل حيث أنها قد تترك مجرى الدم فى أعداد كبيرة خلال جدران الأوعية الشعرية للأنسجة. لذا يعتقد أنها تبقى هذه المدة القصيرة فى الدم وتغادره لمحاربة الميكروبات الجرثومية.

وتتكون خلايا الدم البيضاء فى نخاع العظام والعقد اللمفية. وبالرغم من وجود أشكال مختلفة منها إلا أنها تؤدى جميعها وظيفة دفاعية ومناعية للجسم من الميكروبات.

وتنقسم خلايا الدم البيضاء إلى نوعين رئيسيين (شكل ١٧) هما :

أـ الخلايا البيضاء المحببة *Granulocytes* : وهذه يتميز السيتوبلازم فيها ـ كما يدل الاسم ـ باحتواءه على حبيبات ذات قدرة على امتصاص أصباغ كيميائية معينة. وهى تسمى أيضا الخلايا متعددة الأنوية أو الخلايا النخاعية لنشأتها





شكل (١٧)

أنواع خلايا الدم البيضاء

من نخاع العظام. وحسب قابلية حبيباتها للأصباغ تنقسم إلى ثلاثة أنواع هى:

- خلايا متعادلة الصبغ *Neutrophils*: وتصطبغ حبيباتها التى فى السيتوبلازم بمعظم الأصباغ الحامضية والقاعدية. وتتركب النواة فيها من عدد من القطع (٣ـ٥)، يتصل بعضها ببعض بخيط كروماتينى رفيع. وهى أكثر الخلايا البيضاء عدداً. ونسبتها فى جسم الانسان تتراوح بين ٥٥ـ٦٠٪ من مجموع الخلايا البيضاء. ولهذه الخلايا قدرة كبيرة على الدفاع ضد البكتريا لسهولة حركتها وسرعتها وطاقتها على الابتلاع.

- خلايا محبة الصبغة الحامضية *Eosinophils* : وتصطبغ حبيباتها التى فى السيتوبلازم بالأصباغ الحامضية، فتبدو حمراء اللون. وتتكون النواة فيها من ٢ـ٣ فصوص. ورغم حركتها فهى لاتميل إلى البلعمة. وتبلغ نسبة هذا النوع من الخلايا البيضاء فى جسم الانسان نحو ١ـ٣٪ ويرتفع عددها عن هذه النسبة فى الحالات المرضية كالحساسية مثل الربو والإكزيما.

- خلايا محبة الصبغة القاعدية *Basophils* : وتصطبغ حبيباتها التى فى السيتوبلازم بالأصباغ القاعدية، فتبدو زرقاء اللون وتأخذ النواة فيها شكل حرف S. وعلى الرغم من أن نسبتها فى جسم الانسان لاتتجاوز ٠٫٥٪ إلا أنها تحتفظ بنصف كمية الهستامين الموجود فى الدم. كذلك يعتقد أن لها علاقة بزيادة الحساسية فى الانسان. كما لوحظ أن عددها يزداد عندما يتعرض الجسم للإصابة بالعدوى أو الالتهابات المرضية. لذا يقترح أن لها القدرة على مغادرة مجرى الدم والتهام الأجسام الغريبة.

ب- الخلايا البيضاء غير المحببة *Agranulocytes*: فى هذه الخلايا يخلو السيتوبلازم من الحبيبات ويبدو رائقاً. وهى تسمى أحياناً وحيدة النواة لأنها تمتلك نواة واحدة غير مفصصة. وينشأ هذا النوع من الخلايا البيضاء فى العقد اللمفية المنتشرة فى أنحاء الجسم. وتتميز هذه الخلايا إلى نوعين هما:

- الخلايا الكبيرة أو وحيدة النواة *Macrocytes or Monocytes* : وهى أكبر الخلايا

البيضاء حجما. وللخلية منها نواة غير مركزية تحاكى حدوة الحصان. ولها القدرة على التهام الأجسام الغريبة أو الميكروبات وتبلغ نسبتها فى جسم الانسان نحو ٧٪.

- **الخلايا اللمفية** *Lymphocytes* : وهى أصغر الخلايا البيضاء حجماً. وللخلية منها نواة كروية كبيرة تشغل معظم الحيز الداخلى، لذلك فالسيتوبلازم فيها قليل. ولها القدرة على تكوين أجسام مضادة فى الجسم ضد الميكروبات والأجسام الغريبة. وتصل نسبة هذه الخلايا فى جسم الانسان إلى ٢٥ـ٣٠٪ من مجموع الخلايا البيضاء. وهى نوعان :
- **خلايا لمفية تائية** *T-Lymphocytes*: وهذه تفرز مادة اللمفوكين Lymphokine التى تعمل على تشجيع الخلايا البالعة على القيام بعملية البلعمة. لذا فهى مسؤولة عن المناعة الخلوية.
- **خلايا لمفية بائية** *B-Lymphocytes*: وهذه تفرز البروتينات المناعية Immuno-globins. فتشجع صنع الأجسام المضادة لمقاومة الميكروبات. لذا فهى مسؤولة عن المناعة الخلقية.

وظائف خلايا الدم البيضاء

تتلخص وظائف خلايا الدم البيضاء فى القيام بعملية البلعمة. ويقصد بالبلعمة ابتلاع الأجسام الغريبة عن الجسم. وهذه أعظم وسيلة يستعملها الجسم للدفاع عن نفسه، ويتم ابتلاع الجسم الغريب بواسطة خلية الدم البيضاء على مراحل هى امتزازه ثم الإحاطة به ثم هضمه بالعصارات الهاضمة. ولاتمام عملية البلعمة تقوم خلايا الدم البيضاء بافراز مواد هامة مثل مادة اللمفوكين التى تفرزها خلايا الدم البيضاء اللمفية التائية لتشجع الخلايا البالعة على القيام بعملية البلعمة. كما تفرز خلايا الدم البيضاء اللمفية البائية بروتينات مناعية لتشجيع صنع الأجسام المضادة لمقاومة الميكروبات.

ثانيا : المكونات اللاخلوية

١ـ البلازما *Plasma*

تشكل البلازما حوالى ٥٥ ٪ من حجم الدم. وهى تتألف من الماء بنسبة ٩٠ ٪ وبروتينات بنسبة ٧ ٪ وأجسام دهنية بنسبة ٣ ٪. هذا ويمكن الحصول على البلازما بفعل عملية الطرد المركزى لكمية من الدم أوقف تخثرها بواسطة مادة الهيبارين. وتتألف بروتينات الدم من أربعة أنواع هى :

- الزلال أو الألبيومين بنسبة ٥٥ ٪.
- الجلوبيولين بنسبة ٣٨ ٪.
- الفيبرينوجين بنسبة ٧ ٪.
- البروثرومبين بمعدل ٤٠ ملجم / ١٠٠ مل من الدم.

هذا ويمكن تلخيص أهم وظائف بروتينات الدم فيما يلى :

- إيقاف نزف الدم بواسطة آلية التخثر.
- تنظيم حجم الدم والسائل الخلالى والبول بفعل الضغط الأسموزى.
- اعطاء الجسم المناعة.
- نقل مواد مثل الهرمونات والفيتامينات والحديد فى الدم.
- المحافظة على نفاذية الأوعية الدموية وتنظيم التبادل عبر جدرانها.
- رغم قلتها فإنها قد تمد الأنسجة المختلفة باحتياجاتها البروتينية خاصة عند تعرض الجسم لنقص مستمر فى أحد البروتينات ذات القيمة الحيوية العالية.
- تساهم فى تحديد لزوجة الدم حتى يحفظ ضغطه فى حالة طبيعية.
- نظراً لأن لها القدرة على الاتحاد بالقواعد والأحماض على السواء فإنها تعمل على تعديل تركيز أيون الهيدروجين (pH) فى الدم.
- ترتبط ببعض الهرمونات أثناء سريانها فى الدم، فتمنع فاعلية هذه الهرمونات حتى تصل إلى النسيج أو العضو موضع التأثير حيث ينفصل الهرمون عن البروتين المرتبط به.

٢ـ الصفيحات الدموية *Thrombocytes or Platelets*

الصفيحات الدموية عبارة عن جسيمات صغيرة غير خلوية لعدم وجود أنوية فى جميع مراحل تكوينها. وهى مدورة متجانسة تشبة الأقراص أو العصيات. ولايحتوى سيتوبلازمها على أى نوع من الحبيبات. وتتصف بسرعة تبدلها ولزوجة أسطحها. ويتراوح عددها فى الانسان مابين ١٥٠ـ٣٥٠ ألف صفيحة دموية/ ملل من الدم. وهى تنشأ من خلايا خاصة تعرف بالخلايا العملاقة فى نخاع العظام Megakaryocytes. ويصل عمرها إلى حوالى عشرة أيام. ولها عدة وظائف هامة تتمثل فى :

١ـ افراز الثرومبوبلاستين (إنزيم الثرومبوكينيز) اللازم لعملية تخثر الدم.

٢ـ الإلتصاق بسبب لزوجة أسطحها، فتتشكل سدادة صفيحية دموية تغلق الجرح. وبذا يتشكل ما يعرف بالخثرة البيضاء.

تخثر الدم *Blood Coagulation*

من العجيب أن الجسم يعمل على حفظ سيولة الدم داخل الأوعية، كما يعمل أيضا على حفظ قابليته للتخثر خارج الأوعية. وتتكون خثرة الدم بفعل تأثير طلائع الإنزيمات وبروتينات تدعى عوامل التخثر. وتقوم الصفيحات الدموية بالعبء الأكبر فى تكوين الخثرة الدموية. كما تشارك أيونات الكالسيوم فى آلية التخثر. وعوامل التخثر هى :

ـ العامل الأول	(I)	Fibrinogen
ـ العامل الثانى	(II)	Prothrombin
ـ العامل الثالث	(III)	Tissue Thromboplast
ـ العامل الرابع	(IV)	Ca^{2+}
ـ العامل الخامس	(V)	Proaccelerine
ـ العامل السادس	(VI)	Proconvertin

ـ العامل السابع	(VII)	Anti-Hemophilic Globulin
ـ العامل الثامن	(VIII)	Christmes
العامل التاسع	(IX)	Stuart
ـ العامل العاشر	(X)	Plasma Thromboplastin
ـ العامل الحادى عشر	(XI)	Hageman
ـ العامل الثانى عشر	(XII)	Prothrombin Activator
ـ العامل الثالث عشر	(XIII)	Fibrin Stabelizing Factor

ويمكن تلخيص آلية تخثر الدم على النحو التالى :

١ـ تنفجر الصفائح الدموية، ويخرج منها مادة الثرومبوبلاستين المعروفة بمنشط البروثرومبين أو الثرومبو كينيز.

٢ـ يتفاعل البروثرومبين مع الثرومبوبلاستين فى وجود أيون الكالسيوم مكوناً الثرومبين :

$$\text{Prothrombin (البروثرومبين)} \xrightarrow[Ca^{2+}]{\text{Thromboplastin}} \text{Thrombin (ثرومبين)}$$

٣ـ يتفاعل الثرومبين مع الفيبرينوجين فتتكون خثرة دموية قابلة للتحلل :

$$\text{Fibrinogen (الفيبرينوچين)} \xrightarrow{\text{Thrombin}} \text{Soluble Fibrin Clot (خثرة الفيبرين الذائبة)}$$

٤ـ يعمل العامل الثالث عشر Fibrin Stabelizing Factor على تثبيت الخثرة الدموية Colt or Coagulum بوجود أيون الكالسيوم ويمنع تحللها :

$$\text{Soluble Fibrin Clot (خثرة الفيبرين الذائبة)} \xrightarrow[Ca^{2+}]{\text{Factor 13}} \text{Insoluble Fibrin Clot (خثرة الفيبرين غير الذائبة)}$$

وقد يحدث التخثر داخل الأوعية الدموية Intravascular Coagulation or Thrombosis عند جرح البطانة الداخلية لها وفى حالات التصلب الشريانى Arteriosclerosis وفى الأوردة الدوالية Varicose Veins وعند الاصابة البكتيرية للأوعية الدموية والقلب والصمامات. والجلطة التى تبقى عند موقع تكونها تسمى بالخثرة Thrombus، أما عندما تنتقل من موقعها وتطفو مع الدم فتسمى بالسدادة Embolus. وربما تتداخل كل من الخثرة والسدادة بصورة خطيرة مع دوران الدم. فتغلق الأوعية الدموية بل وقد يحدث أن تذهب إلى المخ فتؤدى إلى السكتة، أو إلى القلب فتسبب التخثر التاجى Coronary Thrombosis والذبحة الصدرة Angina Pectoris. وربما تسبب موت الأنسجة فى مساحة محدودة كما يحدث فى حالة الموات أو النخر Gangrene or Necrosis. ومن حسن الخلق أن يوجد فى مجرى الدم إنزيم البلازمين الذى يعمل على تحليل بروتين الخثرة أو السدادة (الفيبرين).

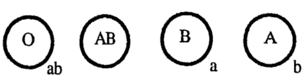
فصائل الدم *Boold Gruops*

تقسم فصائل الدم عند الانسان إلى أربعة أنواع هى A, B, AB, O بناءً على وجود اثنين من مولدات الالصاق Antigens or Agglutinogens تقع على أسطح الخلايا الحمراء وهى A وB . فأصحاب الفصيلة A يوجد على أسطح خلاياهم الحمراء مولد الصاق من نوع A . وأصحاب الفصيلة B لديهم على نفس الموقع مولد الصاق من نوع B . وأصحاب الفصيلة AB يملكون مولدى الصاق من نوعى B, A على نفس الموقع. أما الفصيلة O فلا يوجد لدى صاحبها أى مولد الصاق. كذلك تحتوى بلازما الدم على أجسام مضادة Antibodies or Agglutinins هى: ab, b, a. وكل نوع من مولدات الالصاق له جسم مضاد خاص به. وهذه الأجسام المضادة تعمل على أحداث الصاق Agglutination . ومن الطبيعى أن الشخص الذى يوجد فى دمه أحد أنواع

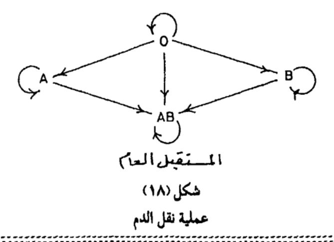
مولدات الالصاق لايمكن أن يوجد فى دمه الجسم المضاد الخاص بذلك المولد للالصاق، وإلا حدث الالصاق. وهكذا فإن :

- الشخص ذا الفصيلة A يملك مولد الالصاق A والجسم المضاد b .
- الشخص ذا الفصيلة B يملك مولد الالصاق B والجسم المضاد a .
- الشخص ذا الفصيلة AB يملك مولدى الالصاق A, B ولا يملك أى جسم مضاد.
- الشخص ذا الفصيلة O لايملك أى مولد الصاق، لكنه يملك أجسام مضادة a وb .

ويمكن إذن أن تكتب الفصائل على هذه الصورة:



وللدراية بهذه الفصائل أهمية كبرى عند نقل Blood Transfusion. والقاعدة الأساسية عند نقل الدم هى ألا يحدث الصاق بين خلايا الدم الحمراء للمعطى وبلازما المستقبل، أى أن مولدات الالصاق لدى المعطى يجب ألا تتلاقى مع الأجسام المضادة المماثلة لها فى بلازما المستقبل. لذا يطلق على الفصيلة AB المستقبل العام لعدم وجود أية أجسام مضادة، ويطلق على الفصيلة O المعطى العام لعدم وجود أى مولد الصاق. ويمكن إيجاز عملية نقل الدم فى شكل (١٨).



شكل (١٨)

عملية نقل الدم

عامل الريسس *Rhesus Factor (Rh)*

لوحظ خلال عمليات نقل الدم حدوث حالات الصاق على الرغم من توافق الفصائل. وقد اكتشف أن سبب ذلك هو وجود مولد الصاق آخر عرف لأول مرة فى قرد من نوع الريسس Rhesus. ولذا سمى بعامل الريسس Rhesus Factor (Rh).

ويوصف الشخص الذى يحوى دمه على هذا المولد للالصاق بأنه موجب العامل أو Rh^+، بينما يوصف الشخص الذى يخلو دمه من هذا العامل بأنه سالب العامل أو Rh^-. ولاتحوى البلازما فى كلا الحالتين على مضاد الريسس (Anti Rh). وقد وجد أن ٨٥ ٪ من الأشخاص البيض تحتوى دماؤهم على هذا العامل (أى هم موجبو العامل أو Rh^+) بينما ١٥ ٪ لا تحتوى دماؤهم عليه (أى هم سالبو العامل أو Rh^-). وتزيد نسبة وجود هذا العامل فى الزنوج عنه فى البيض.

وفى حالة نقل دم شخص موجب العامل Rh^+ إلى شخص سالب العامل Rh^- فإن ذلك يؤدى إلى تكوين أجسام مضادة للعامل Anti-Rh فى دم المستقبل. ولاتشكل هذه العملية خطورة تذكر فى المرة الأولى لحدوثها نظراً لأن كمية الأجسام المضادة المتولدة فى المستقبل تكون قليلة نسبياً. لكنها إذا تكررت بعد ذلك نتج عنها الصاق خطير بسبب التفاعل الذى يحدث بين العامل ومضاده. ولهذا فإن الدم الموجب العامل Rh^+ لايمكن حقنه إلا للأشخاص ذوى الدم الموجب العامل Rh^+، وإلا فإنه تتكون أجسام مضادة تتفاعل مع العامل ويحدث الصاق. وعلى العكس فإن الدم السالب العامل Rh^- يمكن حقنه للأشخاص ذوى الدم السالب العامل Rh^- والموجب العامل Rh^+.

أهمية عامل الريسس

١ـ عند نقل الدم *Blood Transfusion*

يمكن للشخص ذى العامل الموجب Rh^+ أن يستعمل دماً من شخص

ذى عامل موجب Rh^+ أو شخص ذى عامل سالب Rh^-. أما الشخص ذو العامل السالب Rh^- فلا يمكنه أن يستقبل دمًا إلا من شخص ذى عامل سالب مثله Rh^-. فإذا استقبل دمًا من شخص موجب العامل Rh^+ فيتشكل فى بلازمته مضاد الريسس Anti Rh. وعند استقباله مرة ثانية دمًا من شخص موجب العامل Rh^+ فإن ذلك يؤدى إلى حدوث الصاق، وقد يؤدى إلى الوفاة.

٢ـ فى الحمل *Pregnancy*

إذا تزوج رجل موجب العامل Rh^+ من امرأة سالبة العامل Rh^- فيكون الجنين موجب العامل Rh^+ لأن هذا العامل سائد وراثيًا. ويتكون فى دم الأم أجسام مضادة Anti Rh. وهذه تنتقل مع الدم من الأم إلى الجنين لكن كمية الأجسام المضادة لاتؤثر على الجنين الأول. أما إذا حملت الأم مرة ثانية فإن الأجسام المضادة Anti Rh المتكونة فى دمها تكون أكثر وتنتقل من دمها عبر المشيمة إلى الجنين، وتؤدى إلى الصاق دمه. فيولد الطفل مصابًا بفقر الدم واليرقان Jaundice (وجود الصفراء فى أنسجة الجسم). ويعرف هؤلاء الأطفال بالأطفال الزرق. وتسمى هذه الحالة Erythroblastosis Foetalis. ويمكن أن تؤدى إلى وفاة الطفل إلا إذا تم تغيير دمه تغييرًا كاملاً مباشرة بعد الولادة بدم من فصيلة O و Rh^- أى O^-.

عاملا *N, M (M and N Factors)*

ينتج مولدا الالصاق M و N ثلاث فصائل دم هى M و N و MN ويحدد وجود هذين المولدين من خلال جينين. وتختلف هذه الفصائل عن فصائل الدم الأخرى O وAB وB وA والـ Rh فى كون أن مولدى الالصاق N, M المرتبطين مع خلايا الدم الحمراء لايترافقان بأجسام مضادة فى البلازما. لهذا فإنه عند نقل الدم لا أهمية لهذين المولدين. ومع ذلك فإن لهما قيمة عظيمة فى اثبات أبوة الطفل عندما يكون هناك شك فى ذلك.

أهمية فصائل الدم المختلفة فى تحديد الأبوة والأمومة

إن تحديد الفصيلة الدموية ينفى ولايثبت أبوة الطفل. فإذا كان الرجل المتهم له نفس الفصيلة A أو B أو O أو نفس عامل Rh الذى للطفل فمن المحتمل أن يكون الرجل هو والد الطفل. أما إذا كانت فصيلة الرجل تختلف عن فصيلة الطفل أو أن عامل الـ Rh للرجل يختلف عن عامل الـ Rh للطفل فإن هذا الرجل ليس والد الطفل.

وإذا اختلط طفلان فى المستشفى ونسبا إلى أبوين مختلفين فإن الأبوة الصحيحة يمكن أن تثبت بعاملى N, M كما هو مبين فى الجدول (١) :

جدول (١)

إثبات الأبوة عن طريق العاملين N, M.

إذا كان الطفل	فإن الأم	الأب	
		يجب أن يكون	لايمكن أن يكون
M	يجب أن تكون M أو MN	M أو MN	N
N	يجب أن تكون N أو MN	N أو MN	M
MN	قد تكون M	N أو MN	M
	قد تكون N	M أو MN	N
	قد تكون MN	M أو N أو MN	

التركيب الكيميائى للدم

يتركب الدم كيميائياً من عدة مركبات تقسم إلى البروتينات والإنزيمات

والمركبات العضوية النيتروجينية غير البروتينية والمركبات العضوية غير النيروجينية والمركبات غير العضوية. وثمة مركبات كيميائية أخرى فى الدم هى الهرمونات. وسيلى ذكرها بالتفصيل فى باب الغدد الصماء.

اولا ـ بروتينات الدم

أهم هذه البروتينات هى الألبيومين والجلوبيولين والفيبرينوجين. ويطلق عليها جميعاً بروتينات البلازما. وهى تشكل نحو ٦ ـ ٨٪ من البلازما. وفيمايلى سنتحدث بالتفصيل عن الألبيومين والجلوبيولين. أما الفيبرينوجين فقد ورد الحديث عنه عند التعرض لتخثر الدم.

١ ـ الألبيومين

يشكل الألبيومين أكثر من نصف الكمية الكلية لبروتينات البلازما فى الانسان. وهو يتكون فى الكبد ويتجدد بسرعة. وله دور هام فى المحافظة على الضغط الأسموزى للدم. وإذا انخفض تركيز الألبيومين فى الدم فإن ذلك يؤدى إلى حدوث الأوديما Oedema، حيث تتجمع السوائل خارج الأوعية الدموية. ويلاحظ انتفاخ الأطراف السفلى وانتفاخ الوجه والعينين. ومن الأعراض الشديدة لهذا المرض انتفاخ البطن. ويقوم الألبيومين بوظيفة هامة فى نقل كثير من المركبات البيولوجية النشطة مثل الأحماض الدهنية والبيليروبين. كذلك ترتبط به كثير من الأيونات المعدنية مثل الكالسيوم والنحاس والخارصين. فمثلاً يرتبط به ٥٠ ٪ من الكالسيوم الموجود فى الجسم. ويستطيع الألبيومين أيضاً الارتباط مع المركبات الدوائية المختلفة مثل البنسيلين والأسبرين وأدوية أمراض القلب. كذلك ينقل الألبيومين بعض الهرمونات مثل الكورتيزول والألدوستيرون والثيروكسين. وتنخفض كمية الألبيومين فى مصل الدم خلال اصابة الكبد ببعض الأمراض مثل تشمع الكبد Cirrhosis والتهابه Hepatitis، وخلال الاصابة بأمراض الكليتين التى تؤدى إلى زيادة فى اخراج هذه البروتينات، وفى

بعض الأمراض التى تؤدى إلى الاسهال، وفى حالات الحروق البالغة أو نقص البروتين فى الطعام.

٢ـ الجلوبيولين

ينقسم هذا النوع من البروتينات إلى الأصناف الآتية :

ألفا ـ جلوبيولين *α-Globulins* :

وهذا يقسم بدوره إلى عدة أصناف هى :

ألفا ١ـ جلوبيولين α_1*-Globulins* ومن أمثلته :

ألفا ١ـ مضاد التريبسين α_1*-Antitrypsin* : وهو يتكون فى الكبد. ويقوم بتثبيط عدد من الإنزيمات التى تفكك البروتينات بالتميؤ.

ألفا ١ـ جليكوبروتين الحامضى α_1*-Acidglycoprotein* : ويزيد تركيزه فى الجسم بسبب الجروح والتهاب المفاصل وبعض الأورام.

ألفا ـ بروتين الجنين α_1*-Fetoprotein* : وهو يتكون فقط فى كبد الجنين وكيس المح ولا يوجد فى البالغين فى الحالة الطبيعية. ونظراً لقلة وزنه فهو ينفذ من الشعيرات الدموية ويظهر فى بول الجنين أى فى السائل الأمنيونى، ومن ثم فى بلازما الأم.

ألفا ٢ـ جلوبيولين α_2*-Globulins* ومن أمثلته :

هابتوجلوبيولين *Haptoglobulin* : وهو يصنع فى الكبد، ويقل معدله عن الطبيعى فى حالة حدوث مرض بالكبد. ويلعب دوراً هاماً فى المحافظة على نسبة الحديد بالجسم. إذ عند تحلل خلايا الدم الحمراء فى الطحال ينقسم الهيموجلوبين إلى جزئين وزنهما الجزيئى صغير نسبياً. ومن المحتمل فقدهما مع البول فى الكليتين، مما يؤدى إلى نقصان كمية الحديد فى الجسم. لذا فإن الهيموجلوبين يتحد مع

الهابتوجلوبيولين ليكونا معاً معقداً يشار إليه بالرمز Hb-Hp ، مما يحفظ الهيموجلوبين من التحلل.

الفا ٢ـ جلوبيولين الكبير *α_2-Macroglobulin* : وهو بروتين سكرى كبير الحجم يكون حوالى ٣٣٪ من مجموعة ألفا٢ـجلوبيولين. وهو يقوم بنقل بعض الهرمونات والخارصين ويثبط عمل التربسين والبلازمين والثرومبين. ولايستطيع هذا البروتين النفاذ من الكليتين فى حالة حدوث المرض الكلوى Nephrotic Syndrome فترتفع نسبته فى الدم.

سيريولوبلازمين *Ceruloplasmin* : وهو إنزيم مؤكسد Oxidase لحامض الأسكوربيك وهرمون الأدرينالين. وهو يقوم بأكسدة الحديد من الصورة Fe^{2+} إلى الصورة Fe^{3+}. وله قدرة على الارتباط بعنصر النحاس.

بيتا جلوبيولين *β-Globulins*: وهذا يقسم بدوره إلى عدة أصناف، أهمها :

ترنسفيرين (Transferrin) : وهو البروتين الذى ينقل الحديد إلى الكبد لتخزينه على شكل فيريتين Ferritin. وفى الحالة الطبيعية يكون ثلث مايوجد من الترنسفيرين مشبعاً بالحديد.

بيتاليبوبروتين (ß-Lipoprotein) : وهى مركبات عديدة الجزيئات يدخل فى تركيبها البروتينات والدهون والكوليسترول والليبيدات الفوسفورية. وتسمى البروتينات الداخلة فى تركيب هذه المركبات أبوليبوبروتين Apolipoprotein . وهناك عدة أنواع منها وتؤدى أدواراً مختلفة، فمنها ماهو ضرورى لبناء المعقدات نفسها، ومنها ما يعمل على تنشيط الإنزيمات الضرورية لأيض هذه المعقدات. كما أن لبعضها دوراً أساسياً فى الأفعال المتبادلة بين الأنواع المختلفة للبروتينات الليبيدية أو بينها وبين المستقبلات الخلوية.

ويمكن تقسيم البروتينات الليبيدية إلى عدة أنواع بناءً على كثافتها التى تتحدد بمقدار نسبة البروتينات إلى الليبيدات فى كل منها. فأقلها كثافة هى الكايلوميكرونات التى تصنعها خلايا الأمعاء لتنقل منها الدهون الممتصة من القناة الهضمية. ويلى ذلك البروتين الليبيدى ذو الكثافة المنخفضة جداً Very Low Density Lipoprotein (VLDL) الذى يصنع فى الكبد ويعمل على نقل ثلاثيات الجليسريد المصنعة فى الكبد، يليها البروتين الليبيدى منخفض الكثافة Low Density Lipoprotein (LDL) التى تصنع من البروتين الليبيدى ذى الكثافة المنخفضة جداً وتعمل على نقل الكوليستيرول إلى خلايا الجسم. ثم يليه أخيراً البروتين الليبيدى عالى الكثافة High Density Lipoprotein (HDL) الذى يصنع فى الكبد ويقوم بنقل الكوليستيرول من الخلايا إلى الكبد.

جاما جلوبيولين *δ-Globulins* : يطلق على هذا البروتين اسم جلوبيولين المناعة Immunoglobulins (I.g). وهو لايتكون فى الكبد، ولكن يصنع فى خلايا خاصة من الخلايا اللمفية Lymphocytes تعرف بخلايا البلازما Plasma Cells. وهذا البروتين مسؤول عن المناعة فى الجسم، ويعمل كأجسام مضادة لمختلف أنواع الميكروبات. ويقسم هذا البروتين إلى عدة أنواع يلحق برمزها المختصر أحرف A, G, M, D, E.

وكل نوع من هذه يشمل آلافاً من جزيئات مختلفة تختص بمحاربة الأنواع المختلفة من الأجسام الغريبة.

ثانياً : إنزيمات الدم

أغلب الإنزيمات الموجودة بالدم يختص المصل منها بنسب عالية فى

الحالات المرضية. ففى الحالة الطبيعية لا تكون فاعلية هذه الإنزيمات عالية فى مصل الدم بالمقارنة مع مثيلاتها فى الأنسجة الأخرى. لكن فى عديد من الحالات المرضية تحدث تغيرات كبيرة على معدلاتها. وتعتبر هذه الإنزيمات الموجودة فى مصل الدم من الأمور المساعدة على الحصول على المعلومات الوافية عن النسيج الذى حدث فيه خلل. فالخلل الذى يحدث فى أنسجة الكبد أو القلب يعطى تركيزات إنزيمية معينة وبصورة تقارب الخلل الذى يحدث بتلك الأنسجة وتتفاوت سرعة تحرر الإنزيمات من خلال الأنسجة إلى المصل بالنسبة للإنزيم الواحد..وتعتمد على مدى امكانية ذلك الإنزيم من النفاذية من خلال جدران الخلايا المختلفة. ومن هذه الإنزيمات:

١ ـ إنزيم نقل الأمين من الجلوتامات أوكسالوأسيتات

Glutamate Oxaloacetate Transaminase (GOT)

ويسمى أيضاً إنزيم نقل الأمين من الأسبارتات Aspartate Transaminase (AST). ويعمل هذا الإنزيم على نقل مجموعة الأمين ($-NH_2$) بين الأحماض الأمينية والأحماض الكيتونية. وأعلى فاعلية له فى نسيج القلب، إذ تفوق هذه الفاعلية فى القلب مثيلتها فى مصل الدم بنحو عشرة آلاف مرة، وقد لوحظت فاعليته فى مصل الدم مرتفعة فى حالات أمراض القلب وتشمع الكبد واليرقان.

٢ ـ إنزيم نقل الأمين من الجلوتامات بيروفات

Glutamate Pyruvate Transaminase (GPT)

ويسمى أيضاً إنزيم نقل الأمين من الآلانين Alanine Transaminase (ALT). ويعمل هذا الإنزيم على نقل مجموعة الأمين ($-NH_2$) من حامض الجلوتاميك إلى حامض البيروفيك. وأعلى فاعلية له تكون فى الكبد والبنكرياس والقلب والعضلات الهيكلية. وترتفع فاعليته كثيراً فى مصل الدم فى حالة أمراض الكبد.

٣ ـ أنزيم نزع الهيدروجين من اللاكتات *Lactate Dehydrogenase (LDH)*

هذا الإنزيم هو أوسع الإنزيمات انتشاراً فى الجسم. إذ يوجد فى جميع الأنسجة والأعضاء. وهو يحفز تفاعل تحول حامض اللاكتيك إلى حامض البيروفيك. ويستخدم المركب NAD^+ كمستقبل للهيدروجين فى هذا التفاعل، وأعلى فاعلية للإنزيم تكمن فى كل من الكليتين والقلب والعضلات الهيكلية والكبد. وتزداد فاعليته فى مصل الدم عند الاصابة بالسرطان واليرقان وانسداد أوعية القلب.

٤ ـ إنزيم ألدوليز *Aldolase*

هذا الإنزيم هو أحد إنزيمات مسار تحلل الجلوكوز Glycolysis. إذ يعمل على انشطار جزئ فركتوز ١ ،٦ ثنائى الفوسفات إلى جزيئين من السكر الثلاثى المفسفر هما فوسفو جليسرالدهيد وثنائى هيدروكسى أسيتون فوسفات. وأعلى فاعلية لهذا الإنزيم فى أنسجة العضلات الهيكلية والقلب والكبد. وفاعليته فى خلايا الدم الحمراء أعلى بنحو ١٠٠ مرة مما فى المصل. ويرتفع معدل فاعلية هذا الإنزيم فى مصل الدم عند الإصابة بالسرطان والتهاب الكبد واليرقان وانسداد أوعية القلب.

٥ ـ إنزيم التشكل إلى فوسفات الجلوكوز *Glucose Phosphate Isomerase*

ينتمى هذا الإنزيم إلى مجموعة إنزيمات التشكل Isomerases. وهو يشترك فى تفاعلات تحلل الجلوكوز Glycolysis. فيعمل على تنشيط التفاعل فى الاتزان بين جلوكوز ـ ٦ ـ فوسفات وفركتوز ـ ٦ ـ فوسفات. ويوجد هذا الإنزيم فى خلايا الدم الحمراء والمصل، لكن تزيد فاعليته فى خلايا الدم الحمراء عن مصل الدم بنحو ١٦٠ مرة. وأعلى معدل لهذا الإنزيم يوجد فى الكبد والأنسجة العضلية الهيكلية. ويرتفع معدله فى مصل الدم عند الإصابة بالتهاب الكبد والسرطان وانسداد الأوعية الدموية فى القلب.

٦ ـ إنزيم ترنس كيتوليز *Transketolase*

هذا الإنزيم هو أحد إنزيمات مسار فوسفات البنتوز. وأعلى فاعلية له فى الكبد والطحال والكليتين. وتزداد فاعليته فى مصل الدم فى حالات التهاب الكبد والتسمم البولى وانسداد أوعية القلب.

٧ ـ إنزيم كرياتين كينيز *Creatine Kinase*

يؤثر هذا الإنزيم على التفاعل العكسى لعملية نقل مجموعة الفوسفات من أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP إلى الكرياتين بوجود أيونات الماغنسيوم Mg^{2+}. وهو يوجد بشكل كبير فى الأنسجة العضلية. وتزداد فاعليته فى مصل الدم فى حالات اصابة الجهاز العضلى الهيكلى وانسداد أوعية القلب.

٨ ـ إنزيم الأميليز *Amylase*

هذا الإنزيم هو أحد الإنزيمات الهامة فى عملية تفكك السكريات العديدة. وهو يصنع أساساً فى غدة البنكرياس، وينتقل إلى الأمعاء ليقوم هناك بعمله. وتزداد فاعليته كثيراً فى مصل الدم عند الاصابة بالتهاب البنكرياس أو تورمه.

٩ ـ إنزيم الفوسفاتيز الحامضى *Acid Phosphatase*

تزداد فاعلية هذا الإنزيم بمصل الدم فى حالة الاصابة بسرطان غدة البروستاتا.

١٠ ـ إنزيم الفوسفاتيز القلوى *Alkaline Phosphatase*

تزداد فاعلية هذا الإنزيم بمصل الدم فى حالات أمراض العظام وزيادة نشاط الغدة الدرقية والكساح واليرقان.

ثالثاً ـ المركبات النيتروچينية غير البروتينية فى الدم

١ـ البولينا (اليوريا) *Urea*

البولينا هى المركب الأساسى فى النواتج النهائية لعملية أيض البروتين. وهى تشكل القدر الأكبر من المحتوى النيتروچينى اللابروتينى فى الدم. ويزداد تركيزها فى الدم عند تناول كميات كبيرة من المواد البروتينية. وارتفاع معدل البولينا فى الدم لفترة طويلة يعد مؤشراً على حدوث التهاب فى الكليتين أو زيادة تفكك البروتينات الهيكلية فى الجسم أو حدوث سرطان فى المثانة أو فقر دم أو مرض فى القلب.

٢- حامض البوليك (حامض اليوريك) *Uric Acid*

حامض البوليك هو أحد المركبات النيتروچينية اللابروتينية الهامة فى الدم. وهو الناتج الأساسى عند الانسان لعمليات أيض البيورينات. ويزداد معدله فى الدم فى حالات مرض النقرس وسرطان الدم والروماتيزم.

٣ـ الكرياتين والكرياتينين *Creatine and Creatinine*

هذان المركبان الكرياتين والكرياتينين هما من حواصل أيض النيتروجين، ويوجدان بشكل رئيسى فى الأنسجة العضلية. ويدل ارتفاع معدلهما على الهبوط الكلوى. وتعيين الكرياتينين بالذات فى الدم هو تحديد أكثر دقة لوظائف الكليتين.

٤ـ البيليروبين *Bilirubin*

البيليروبين هو أحد نواتج تفكك الهيموجلوبين. وهو أحد الأصباغ الهامة فى عصارة الصفراء، ويندرج ضمن المركبات النيتروچينية غير البروتينية التى تدخل فى الدم. وارتفاع معدله يدل على حدوث اعتلال فى الكبد.

٥ـ الأحماض الأمينية *Amino Acids*

تأتي الأحماض الأمينية إلى الدم من جراء هضم المواد البروتينية فى القناة الهضمية، وأيضاً كنتيجة لعمليات تفكك البروتين فى الأنسجة. ومع ذلك فكميتها فى الدم ضئيلة جداً. إذ بمجرد دخولها إلى الدم تستهلك من قبل الأنسجة المختلفة التى تستخدمها لبناء البروتينات أو لتصنيع بعض المركبات النيتروجينية الأخرى.

٦ـ عديد الببتيد *Polypeptides*

يمثل عديد الببتيد فى الدم بمجموعة من الكينينات Kinins فى البلازما. وهذه تعمل على تنظيم الحركة السائلة للدم، وأهمها مركب البراديكينين Bradykinin الذى يعد من المركبات الموسعة للأوعية الدموية، كما أنه يزيد من افراز البول وطرده عبر الكليتين. وهو أيضاً يدخل فى بناء جلوبيولين α_2 فى البلازما. وكمية الكينينات فى بلازما الدم ضئيلة جداً بشكل عام وذلك لوجود إنزيم كربوكسى ببتيديز Carboxy Peptidase الذى يعمل على تكسير هذه المركبات.

رابعاً ـ المركبات العضوية غير النيتروجينية فى الدم

١ـ الجلوكوز *Glucose*

الجلوكوز هو الناتج النهائي لهضم الكربوهيدرات. ويعبر معدله فى الدم عن معدل أيض الكربوهيدرات فى الجسم. ويرتفع معدله فى الحالات المرضية كمرض السكر والتهاب الكبد واضطراب وظيفة الغدة النخامية وسرطان الغدة الكظرية وازدياد نشاط الغدة الدرقية. أما انخفاض معدله فى الدم فيرتبط بانخفاض وظائف الغدد المذكورة أو بسبب الجوع أو الإجهاد العضلى المستمر.

٢ ـ حامض البيروفيك *Pyruvic Acid*

حامض البيروفيك هو الناتج النهائي لعملية تحلل السكر Glycolysis في الظروف العادية ويزداد معدله عن الطبيعي في حالات الاجهاد العضلي ونقص فيتامين B_1. كما يدل ارتفاع معدله في الدم على الاصابة بأمراض الكبد واضطرابات القلب.

٣ ـ حامض اللاكتيك *Lactic Acid*

هذا الحامض هو الناتج النهائي لعملية تحلل السكر Glycolysis في حالتي التمارين العضلية الشديدة وغياب الميتوكوندريا وفي حالة الاجهاد العضلي يزداد معدله عن الطبيعي. كما يزداد أيضاً في حالات التهاب الكبد وتشمعه وعند حدوث التسمم. وبناءً على ذلك فإن ارتفاع معدل هذا الحامض في الدم مرتبط بشكل أساسي مع ازدياد انتاجه في العضلات ومع انخفاض قدرة الكبد على تحويل حامض اللاكتيك الفائض إلى جلوكوز وبالتالي إلى جليكوچين.

٤ ـ الليبيدات *Lipids*

يحتوى الدم على جميع أنواع الليبيدات التي يمكن أن توجد في الأنسجة المختلفة. ويوجد الجزء الأكبر من الليبيدات في بلازما الدم على شكل بروتينات ليبيدية. ويزداد معدل الليبيدات عموماً عند تصلب الشرايين ومرض السكر وفقر الدم واليرقان. ويزداد معدل الكوليستيرول بالذات في حالات الحمل وتصلب الشرايين وأمراض الكبد. وينقص في حالات الضعف العام وضعف القلب وانسداد أوعيته والدرن الرئوي وفقر الدم.

خامساً ـ المركبات غير العضوية في الدم

١ ـ الحديد *Iron*

تحتوى خلايا الدم الحمراء على أكبر قدر من الحديد في الجسم.

وخلال تحلل هيموجلوبين هذه الخلايا فى الطحال والكبد يتحرر يومياً من الحديد حوالى ٢٥ ملجم. ويستخدم نحو ٩٠٪ من هذه الكمية المتحررة من الحديد لتصنيع الهيموجلوبين الجديد فى الأنسجة المولدة لخلايا الدم الحمراء. ويوجد فى نخاع العظام احتياطى غير ثابت من الحديد. لكن الاحتياطى الأكبر يوجد فى الكبد والطحال. وترتبط كمية الحديد الداخلة إلى الدم من الأمعاء بشكل رئيسى ببروتين الأبوفيريتين Apoferritin الذى يصنع فى جدار الأمعاء. ويرتفع معدل الحديد فى مصل الدم عند تضاءل عملية تصنيع الهيموجلوبين أو عند زيادة تحلل خلايا الدم الحمراء وكذلك عند الاصابة بمرض اليرقان.

٢ـ الصوديوم *Sodium*

يوجد الصوديوم فى الدم بكمية كبيرة فى صورة كلوريد الصوديوم وبنسبة أقل فى صورة بيكربونات الصوديوم. وحوالى ١٥٪ من مجموع الصوديوم فى الدم يوجد متحداً مع البروتينات. ونسبة الصوديوم فى خلايا الدم الحمراء منخفضة وعالية فى البلازما. ويقل معدله فى بلازما الدم أثناء الإصابة بالتهاب الرئتين والاسهال ومرض اديسون. ويزيد معدله فى بلازما الدم عند الاصابة بضعف القلب وازدياد كمية هرمون الألدوستيرون.

٣ـ البوتاسيوم *Potassium*

يوجد البوتاسيوم بصورة عالية فى خلايا الدم الحمراء. ويزداد معدله عند الاصابة بمرض اليرقان ومرض اديسون الذى يعزى إلى اضطراب وظيفة الغدتين الكظريتين وحين ينقص افراز هرمون الألدوستيرون الذى يؤدى إلى ازدياد خروج الصوديوم والماء فى البول مع بقاء البوتاسيوم فى الجسم وينقص معدل البوتاسيوم إذا زاد افراز هرمون الألدوستيرون. ونظراً لأهمية وجود البوتاسيوم لعمل القلب فإن النقص فى معدل البوتاسيوم يؤدى إلى اضطراب خطير فى ذلك

٤ـ الكالسيوم *Calcium*

يوجد الكالسيوم فى الدم إما حراً فى صورة أيونية أو متحداً مع البروتين. ويرتبط وجود الكالسيوم فى الدم مع نشاط العظام والغدد جارات الدرقية ووظيفة الجهاز العصبى المركزى. ويعبر نقص الكالسيوم فى الدم عن نقص افراز الغدد جارات الدرقية وهشاشة العظام. ويزداد معدل الكالسيوم فى مصل الدم فى حالات ازدياد افراز الغدد جارات الدرقية وسرطان العظام، بينما يزداد معدله فى البلازما فى حالات مرض اديسون وفقر الدم.

٥ـ الماغنسيوم *Magnesium*

وجود الماغنسيوم فى الدم ضرورى لتوازن أعضاء الجسم المختلفة. لذا فعند نقصه فى الدم يثار الجسم ويتشنج. أما عند زيادته فيحدث النعاس. وترتفع نسبة الماغنسيوم فى البلازما عند الاصابة بارتفاع ضغط الدم وتصلب الشرايين والتهاب المفاصل والكساح، بينما تقل نسبته فى حالات الاسهال الشديد وأورام العظام الخبيثة.

٦ـ الفوسفور *Phosphorus*

يوجد الفوسفور فى الدم إما فى صورة عضوية أو فى صورة غير عضوية. ويزداد معدله فى الدم عند الاصابة بقصور الكبد وزيادة النيتروجين فى الدم ومرض اديسون. وينقص معدله فى مصل الدم عند الاصابة بالكساح.

٧ـ الكلور *Chlorine*

يوجد الكلور فى الدم على صورة ملح كلوريد الصوديوم. وينقص معدله فى بلازما الدم عند الاصابة بتشمع الكبد ومرض اديسون والسل الرئوى والتهاب الكلى، بينما يزداد معدله فى حالات الضعف العام وضعف عضلة القلب خاصة.

٨ـ الكبريت *Sulphur*

يوجد معظم الكبريت فى الدم متحداً مع البروتينات. والقليل منه يوجد فى الدم على هيئة غير بروتينية. ويرتفع معدل الكبريت غير البروتينى فى الدم فى حالة ازدياد تفكك البروتينات وأمراض الكلى.

٩ـ اليـــود *Iodine*

يوجد اليود فى الدم مرتبطاً على شكل هرمونات الثيروكسين وثنائى أيودو الثيرونين وثلاثى أيودو الثيرونين. لذا تتغير نسبة اليود فى الدم إذا أصيبت الغدة الدرقية بخلل فى وظيفتها.

القلـــب

القلب Heart عضو عضلى مجوف يتباين شكله فى الكائنات الحية. وهو فى الانسان كمثرى الشكل بحجم قبضة اليد ويقع بين الرئتين فى الجهة اليسرى من التجويف الصدرى. ويتألف من عدد كبير من الألياف المتخصصة ، وألياف عضلاته متفرعة قصيرة مخططة طولياً وغير منفصلة ، بينها اتصال سيتوبلازمى يجعلها تعمل كوحدة واحدة. وعضلة القلب عضلة لا ارادية لها القدرة على الانقباض والارتخاء ذاتياً. ولهذا يظل القلب، ينبض حتى بعد إزالته من الجسم، إذا ما وضع فى محلول غذائى مناسب. كما أن القلب يبدأ بالنبض فى المرحلة الجنينية قبل تكون نهايات الأعصاب. ولذلك لا يحتاج إلى تأثير المخ. إذ تعمل العضلة مستقلة عن الجهاز العصبى ولا تستجيب للإشارات العصبية إلا لتنظيم وتعديل دقات القلب حسب الحاجة.

ويغطى القلب كيس غشائى يسمى التامور Pericardium ، يتكون من طبقة خارجية ذات نسيج ليفى وطبقة مصلية تحيط بالقلب وتعمل على وقايته

وحمايته من الصدمات والاحتكاكات الخارجية. ويوضح شكل (١٩) التامور وطبقتيه الداخلية (الحشوية) والخارجية (الجدارية) .

Endothelium ١
of Blood Vessel
Parietal ٢
Pericardium
Pericardial ٣
Space
Visceral ٤
Pericardium
Myocardium ٥
Endocardium ٦

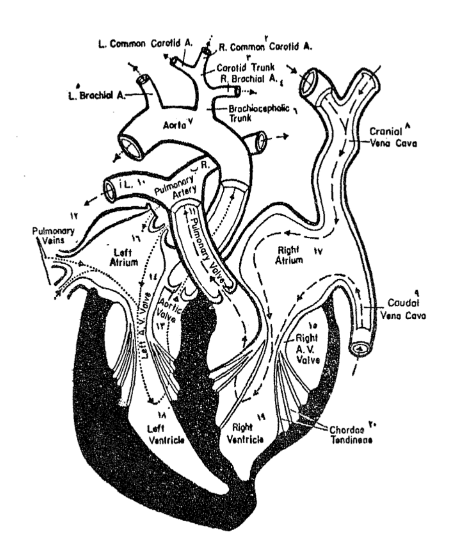
١- البطانة الطلائية الداخلية للأوعية الدموية
٢- التامور الجداري
٣- فراغ التامور
٤- التامور الحشوي
٥- عضلة القلب
٦- بطانة القلب الداخلية

شكل (١٩)
التامور المغلف للقلب وطبقتاه الداخلية والخارجية

تركيب القلب

يتركب القلب فى الانسان من أربع حجرات (شكل ٢٠) هى :

١ ـ أذينان ، أيمن وأيسر Right and Left Atria ، وتتصل بكل أذين زائدة أذينية الشكل. ولا يوجد اتصال مباشر بين الأذينين إلا فى الحالة الجنينية، حيث توجد فتحة صغيرة بينهما تسمى الكوة البيضية Foramen Ovale.



١- الشريان السباتي الأيسر الرئيسي
٢- الشريان السباتي الأيمن الرئيسي
٣- الجذع السباتي
٤- الشريان العضدي الأيمن
٥- الشريان العضدي الأيسر
٦- الجذع الرأسي العضدي
٧- الأبهر
٨- الوريد الأجوف العلوي (الأمامي)
٩- الوريد الأجوف السفلي (الخلفي)
١٠- الشريان الرئوي
(أ) الأيسر
(ب) الأيمن

١١- صمام رئوى
١٢- أوردة رئوية
١٣- صمام الأبهر
١٤- الصمام الأذيني البطيني الأيسر
١٥- الصمام الأذيني البطيني الأيمن
١٦- الأذين الأيسر
١٧- الأذين الأيمن
١٨- البطين الأيسر
١٩- البطين الأيمن
٢٠- الأحبال الوترية
٢١- العضلات الحلمية

شكل (٢٠)

تركيب القلب

ولهذا يكون الدم مختلطاً في الجنين. لكن لا تلبث هذه الفتحة أن تغلق بعد الولادة.

٢ ـ بطينان، أيمن وأيسر Right and Left Ventricles. ولا يوجد أي اتصال مباشر بين البطينين. لكن الأذين الأيمن يتصل بالبطين الأيمن عن طريق صمام ذي ثلاث شرفات غشائية Tricuspid valve. كما يتصل الأذين الأيسر بالبطين الأيسر بصمام ذي شرفتين Bicuspid Valve يسمى الصمام التاجي Mitral Valve ووظيفة هذه الصمامات أنها تسمح فقط بمرور الدم في اتجاه واحد، أي من الأذنينين إلى البطينين وليس العكس.

ولا يقتصر وجود الصمامات على القلب فحسب بل توجد أيضاً في الشريانين الرئوي والأبهر. فعند فوهة كل منهما يوجد صمام نصف قمري Semilunar يفتح عند اندفاع الدم من القلب إلى هذه الشرايين ويحول دون عودة الدم إلى القلب أثناء حالة الاسترخاء. كذلك فإن الأوردة مزودة هي الأخرى بصمامات تسمح بمرور الدم باتجاه واحد وتمنع رجوعه بالاتجاه العكسي. وهذا يؤدي إلى أن يسير الدم دائماً في اتجاه واحد نحو الأمام مما يسمح له بمتابعة دورته عبر جميع أنحاء الجسم.

آلية حركة القلب

لتفسير آلية حركة القلب توجد نظريتان، هما :

١ ـ نظرية عضلية، وهي تعزو سبب حدوث انقباضات القلب إلى نشاط العضلات فقط.

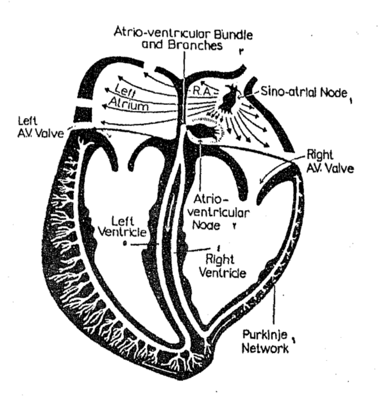
٢ ـ نظرية عصبية، وهي تعزو سبب حدوث انقباضات القلب إلى تأثير عصبي من خلال عقد عصبية معينة تنتشر في جدران القلب.

والثابت الآن أن نبضات القلب في الفقاريات ذات طبيعة عضلية، لأنه إذا

أزيلت العقد العصبية من جدار القلب فإن القلب يظل ينبض بانتظام. كما أن قلب الطائر يبدأ نبضه ابتداءاً من اليوم الثانى لحضانة الجنين، قبل ظهور الخلايا العصبية فى جسمه. وعلى الرغم من ذلك فإن الأعصاب المتصلة بالقلب تلعب دوراً هاماً فى عملية تنظيم ضربات القلب. فالعصب الحائر مثلا يبطىء من معدل نبضات القلب، بينما تسبب الأعصاب السمبتاوية زيادة ذلك المعدل. كذلك فإن بعض الهرمونات مثل الأدرينالين تؤثر فى نبضات القلب.

النبـــض

تبدأ حركة القلب فى الانسان والثدييات عموماً من منطقة خاصة فى جدار الأذين الأيمن عند عقدة عصبية هى العقدة الجيبية الأذينية Sinoatrial Node التى تسمى ضابط الإيقاع أو منظم الخطوات أو ناظم القلب Pace Maker (شكل ٢١). ويناظر هذا الموقع الجيب الوريدى فى الفقاريات الأقل كالبرمائيات من حيث الدور الذى يلعبه وكذلك النشأة الجنينية. وللقلب القدرة على توليد دفع ذاتى بدون أى تنبيه خارجى، وذلك بفعل العقدة الجيبية الأذينية. وعندما يبدأ الدفع الذاتى فى العقدة الجيبية الأذينية تنشأ منها موجة من الانقباضات التى تنتشر خلال الألياف العضلية إلى جدار الأذينين. فيحدث الانقباض الأذينى ثم تنتقل موجهة الانقباضات إلى العقدة الأذينية البطينية Atrioventricular Node التى تقع فى الأذين الأيمن أيضاً على مسافة قصيرة من العقدة الجيبية الأذينية. ومن العقدة الأذينية البطينية تنتقل الانقباضات إلى الحزمة الأذينية البطينية Atrioventricular Bundle (التى تعرف بحزمة هس Bundle of His) ثم إلى البطينين. وتسمى مجموعة الألياف التى تقوم بالنقل فى جميع أجزاء القلب بجهاز بركنجى Purkinje System.



١- العقدة الجيبية الأذينية (منظم الخطوات)

٢- العقدة الأذينية البطينية

٣- الحزمة الأذينية البطينية (حزمة هس)

٤- الفرع الأيمن للحزمة الأذينية البطينية

٥- الفرع الأيسر للحزمة الأذينية البطينية

٦- شبكة تفرعات بركنجي

شكل (٢١)

موقع العقدة الجيبية الأذينية في القلب

(ضابط الإيقاع أو منظم الخطوات أو ناظم القلب)

وينتج عن توالى عمليات الانقباض والانبساط (الارتخاء) لعضلة القلب وما يتبع ذلك من مرور الدم فى الأوعية الدموية ما يعرف بالنبض Pulse. هذا ويمكن ملاحظة نبضات القلب بسهولة في الانسان فى منطقة الشرايين الموجودة فى الأطراف والقريبة من سطح الجسم. لذلك غالباً ما يقاس نبض الانسان عند منطقة الرسغ. ويتراوح المعدل الطبيعى لنبضات القلب فى الشخص العادى كامل النمو عند الراحة بين ٧٠ - ٨٠ نبضة فى الدقيقة. بينما يتراوح فى الطفل ما بين ١٠٥ - ١٠٣ نبضة فى الدقيقة. ويصل ما يضخه القلب من الدم حوالى ٧٥٠٠ لتراً يومياً. وتختلف سرعة النبض حسب العمر (فى الأطفال أكثر من الشبان والشيوخ) وحسب الجنس (فى الإناث أكثر) وحسب النشاط (تزيد كلما زاد المجهود) وحسب ارتفاع درجة حرارة الجسم.

ضغط الدم

يسرى الدم فى الأوعية الدموية بقوة معينة. فيضغط على جدرانها وتقاوم الأوعية الدموية سريان الدم فيها. وهكذا ينشأ ضغط للدم Blood Pressure على جدران الأوعية الدموية. ويمكن أن يعرف ضغط الدم بأنه الضغط الذى ينشأ نتيجة لدفع القلب الدم فى الأوعية الدموية على هيئة موجات وفقاً لنبضات القلب. وضغط الدم ليس ثابتاً فى جميع الأوعية الدموية بل يقل تدريجياً حتى يصل إلى أقل قيمة له فى الأوردة. ويتحكم فى ضغط الدم ثلاثة عوامل هامة هى :

١ ـ درجة مطاطية عضلات القلب.

٢ ـ درجة مطاطية الأوعية الدموية.

٣ ـ كمية الدم ولزوجته.

ويقاس ضغط الدم بمقدار ارتفاع عمود الزئبق. ويعبر عنه بالمعادلة الآتية:

$$\text{ضغط الدم} = \frac{\text{ضغط الدم الانقباضى Systolic Blood Pressure}}{\text{ضغط الدم الانبساطى Diastolic Blood Pressure}}$$

وهو يقدر في الانسان السليم بنحو $\frac{١٢٠}{٨٠}$ ملم زئبق. ويقصد بضغط الدم الانقباضى ضغطه أثناء انقباض عضلات القلب (انقباض البطينين) ودفعه للدم فى الشرايين. أما ضغط الدم الانبساطى فيقصد به ضغطه فى الشرايين أثناء انبساط القلب (ارتخاء البطينين) والتوقف عن ضخ الدم. ويحدد الضغط الانبساطى الثقل الذى تتعرض له الشرايين باستمرار بسبب المقاومة التى يلاقيها الدم عند مروره من البطين الأيسر إلى البطين الأيمن. وهو كمية الضغط التى يجب التغلب عليها بانقباض البطين الأيسر قبل أن تفتح الصمامات نصف القمرية وقبل دفع أى دم إلى داخل الأبهر. وكلما تظهر الأوعية الدموية مقاومة أكبر يزداد الضغط الانبساطى ، لذلك يقال أن الضغط الانبساطى يمثل حالة الأوعية الدموية. أما الضغط الانقباضى فيمثل كمية الشغل الذى ينجزه البطين الأيسر فى التغلب على مقاومة الأوعية الدموية. وتحدث هاتان العمليتان بالتبادل بصورة منتظمة ويشكلان معاً ما يسمى بالدورة القلبية Cardiac Cycle. وتمثل الدورة القلبية بشقيها نبضة من نبضات القلب.

وعندما يستعمل الطبيب السماعة الطبية عند قياس ضغط الدم فإنه يميز نوعين من الأصوات أثناء كل نبضة أو دورة قلبية ، الصوت الأول منهما هو صوت انقباض عضلات البطينين وانغلاق الصمامين الأذينيين البطينيين. أما الصوت الثانى فيمثل صوت انغلاق الصمامات نصف القمرية أثناء ارتخاء البطينين.

وضغط الدم الانبساطى (المقام) هو الأهم طبياً. إذ أن الآثار الناتجة عن ارتفاع ضغط الدم تتناسب طردياً مع الضغط الانبساطى لا الانقباضى. والضغط الانقباضى أكثر حساسية للمؤثرات والضغوط الخارجية. بينما الضغط الانبساطى ثابت، ويعبر عن الدورة الدموية. ولذلك فإن الواحد ينبغى ألا يشغل نفسه بالضغط الانقباضى لأنه أكثر تغيراً.

وتختلف قراءة معدل ضغط الدم بين الحين والحين إذ أنها تعتمد على عوامل عديدة كالارهاق الجسدى والذهنى والتدخين وتناول المنبهات كالقهوة والشاى والحالة النفسية والعمر والجنس وارتفاع نسبة الدهون فى الغذاء وفى الدم ومرض السكر وازدياد نشاط الغدة الدرقية. ومع ذلك فإن الجسم يعمل جاهداً على تنظيم معدل ضغط الدم عن طريق الأعصاب المتصلة بالشرايين وهى الأعصاب القابضة Vaso-Constricting Nerves التى تعمل على انقباض الشرايين، والأعصاب الموسعة Vaso-Dialator Nerves التى تعمل على انبساط الشرايين.

ويتراوح الضغط الانقباضى عند الأطفال حديثى الولادة من ٦٠ إلى ٩٠ ملم زئبق. ويرتفع عند الأطفال ذوى عشر سنوات إلى ١٠٠ ملم زئبق.

ويصل عند البلوغ إلى ١٢٠ ملم زئبق تقريباً. وكلما زاد العمر ارتفع الضغط الانقباضى ولكن ببطء. ويوضح جدول (٢) معدلات كل من الضغطين الانقباضى والانبساطى بالنسبة لسنوات العمر من ٢٠ وحتى ١٠٠ سنة.

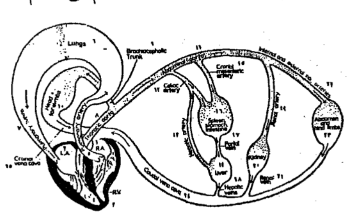
جدول (٢)

معدلات ضغط الدم المناظرة لسنوات العمر من ٢٠ وحتى ١٠٠ سنة

العمر	الذكور		الاناث	
	الانقباضى	الانبساطى	الانقباضى	الانبساطى
24 – 20	13.7 ± 123	9.9 ± 76	11.8 ± 116	9.7 ± 72
29 – 25	12.6 ± 125	9.0 ± 78	11.4 ± 117	9.1 ± 74
34 – 30	13.6 ± 126	9.7 ± 79	14.0 ± 120	10.8 ± 75
39 – 35	14.2 ± 127	10.4 ± 80	13.9 ± 124	10.0 ± 78
44 – 40	15.1 ± 129	9.5 ± 81	17.1 ± 127	10.6 ± 80
49 – 45	16.9 ± 130	10.8 ± 82	19.5 ± 131	11.6 ± 82
54 – 50	19.2 ± 135	11.3 ± 83	21.3 ± 137	12.4 ± 84
59 – 55	18.8 ± 138	11.4 ± 84	21.4 ± 139	11.8 ± 84
64 – 60	21.1 ± 142	12.4 ± 85	22.3 ± 144	13.0 ± 85
69 – 65	26.0 ± 143	9.9 ± 83	29.0 ± 154	13.8 ± 83
74 – 70	26.3 ± 145	15.3 ± 82	25.8 ± 159	15.3 ± 85
79 – 75	21.6 ± 146	12.9 ± 81	26.3 ± 158	13.1 ± 84
84 – 80	25.6 ± 145	9.9 ± 82	28.0 ± 157	13.1 ± 83
89 – 85	24.2 ± 145	14.9 ± 79	27.9 ± 154	17.3 ± 82
94 – 90	23.4 ± 145	12.1 ± 78	23.6 ± 150	12.1 ± 79
100 – 95	27.5 ± 146	12.7 ± 78	23.5 ± 149	12.5 ± 81

الدورة الدموية

تبدأ الدورة الدموية فى الانسان بتجمع الدم غير المؤكسج بواسطة الوريد الأجوف العلوى والوريد الأجوف السفلى، ثم يصب هذان الوريدان الدم غير المؤكسج فى الأذين الأيمن. كما يتجمع الدم المؤكسج بواسطة الأوردة الرئوية (وهى الأوردة الوحيدة فى الجسم التى تنقل دماً مؤكسجاً) ليصب فى الأذين الأيسر. وحين يمتلئ الأذينان بالدم ينقبضان معاً. فيندفع الدم غير المؤكسج من الأذين الأيمن إلى البطين الأيمن ، ويندفع الدم المؤكسج من الأذين الأيسر إلى البطين الأيسر. وهكذا يمتلىء البطين الأيمن بالدم غير المؤكسج بينما يمتلئ البطين الأيسر بالدم المؤكسج. وتمنع صمامات القلب رجوع الدم فى الاتجاه العكسى. ويوضح شكل (٢٢) كيفية دوران الدم فى جسم الانسان.



١- الاذين الأيمن
٢- الاذين الأيسر
٣- البطين الايمن
٤- البطين الأيسر
٥- الشريان الرئوي
٦- الرئتان
٧- الأوردة الرئوية
٨- الأبهر الصدري
٩- الجذع الرأسي العضدي
١ - الرأس و الأطراف الأمامية
١١- الأبهر البطني
١٢- الشريان البطني
١٣- الشريان الكبدي
١٤- الكبد
١٥ - الشريان المساريقي الأمامي
١٦ - الطحال والمعدة والأمعاء
١٧ - الوريد البابي
١٨ - الأوردة الكبدية
١٩- الشريان البولي
٢- الكليتان
٢١- الوريد البولي
٢٢- الشرايين الحرقفية
٢٣- البطن والأطراف الخلفية
٢٤- الوريد الأجوف الخلفي
٢٥- الوريد الأجوف الأمامي

شكل (٢٢)
الدورة الدموية فى جسم الانسان
(تمثل الأجزاء المنقطة الدم المؤكسج)

هذا وتنقسم الدورة الدموية إلى الأقسام الآتية :

- الدورة الدموية الصغرى أو ما تسمى غالباً بالدورة الرئوية *Pulmonary Circulation*: وهى تهدف إلى أكسجة الدم وتخليصه من الفضلات الغازية (ثانى أكسيد الكربون). وتبدأ بضخ الدم غير المؤكسج من البطين الأيمن إلى الشريان الرئوى وفروعه فى الرئتين حتى تتم أكسجته هناك. ثم ينقل الدم المؤكسج بواسطة الأوردة الرئوية ليصب فى الأذين الأيسر فالبطين الأيسر حيث تبدأ الدورة الكبرى أو العامة.

- الدورة الدموية الكبرى أو الدورة العامة *Systemic Circulation*: وهى تهدف إلى دفع الدم المؤكسج إلى جميع خلايا وأنسجة وأعضاء الجسم المختلفة وتبدأ بضخ الدم المؤكسج من البطين الأيسر إلى الشريان الأبهر (الأورطى) الذى لا يلبث أن يتفرع إلى فرعين أساسيين يحملان الدم المؤكسج إلى اتجاهين متضادين، الأول ويتجه نحو الجزء الأمامى للجسم لتغذيته، والثانى ويتجه نحو الخلف مكوناً ما يعرف بالأبهر الظهرى (الأورطى الظهرى) ليغذى القناة الهضمية وملحقاتها والكليتين والطرفين الخلفيين بالدم.

٢- الدورة البابية الكبدية *Hepatic Portal System*: فى هذه الدورة يدخل الدم الشريانى إلى الكبد بواسطة الشريان الكبدى بينما يمر الدم الوريدى فى الأوردة الدموية الآتية من المعدة والأمعاء والطحال والبنكرياس والمحملة بالمواد الغذائية المهضومة إلى وريد رئيسى يسمى الوريد البابى الكبدى الذى لا يصب فى القلب مباشرة وإنما يتجه نحو الكبد ويتفرع بداخله إلى فروع كثيرة جداً تنتهى بشبكة من الشعيرات الدموية التى لا تلبث أن تتجمع ثانية لتكون أوردة صغيرة تتحد معاً لتكوين أوردة أكبر فأكبر حتى تكون فى النهاية الأوردة الكبدية والتى يصدر الدم منها ويصب فى الوريد الأجوف السفلى.

ومن هنا يتضح أن للكبد دوراً رئيسياً فى هذه الدورة حيث أنه أثناء ذلك يقوم بوظائفه الفسيولوچية الهامة على المواد الغذائية المهضومة سواء الكربوهيدراتية أو الدهنية أو البروتينية وذلك عن طريق التأكد من سلامتها وطرد المواد غير المرغوب فيها أو السامة قبل دخولها إلى الدورة الدموية فى الجسم ثم الكبد. إذن فهو من خلال هذه الدورة يعمل كنقطة تفتيش للتأكد من سلامة وهوية المواد الداخلة إلى الدورة الدموية العامة فى الجسم.

٤ ــ الدورة الدموية التاجية *Coronary Circulation* : وهى الدورة التى تزود عضلة القلب ذاتها بالدم. ويموت حوالى ثلث الناس بمرض الدورة الدموية التاجية، وذلك لأن الشرايين التاجية أكثر قابلية للتصلب أو الانسداد مما يسبب الاصابة بنوبة قلبية يتعرض فيها الانسان لخطر الموت. وربما تظهر عليه أعراض الذبحة الصدرية Angina Pectoris إذا كانت الشرايين التاجية مسدودة جزئياً. كذلك فإنه أثناء القيام بالتمارين والأعمال الشاقة يزيد عمل القلب من ١٠ – ١٥ مرة بينما لا يستطيع أن يزيد من تروية نفسه بالدم أكثر من ٥ – ٦ مرات. والدورة الدموية التاجية هى واحدة من أقصر الدورات فى الجسم، إذ لا تستغرق أكثر من ٨ ثوان فقط. وفيها يتزود القلب بالدم الشريانى بواسطة شريانين أيمن وأيسر وهما فرعان من الشريان الأبهر (الأورطى)، يتفرعان عنه فوق مستوى الصمام الأبهرى ثم يتفرع كل منهما إلى عدد من الشعيرات بحيث يصبح لكل ليفة عضلية شعيرة ترويها. وهذه الشرايين التاجية ليست نهايات شرايين، كما أنه لا يوجد بينها اتصال. والدم الوريدى يجرى فى الأوردة التاجية التى تفتح مباشرة فى أوعية القلب وفى الوعاء الوريدى التاجى الذى يفتح فى الأذين الأيمن بالقرب من العقدة الأذينية البطينية.

الأوعية الدموية

الأوعية الدموية Blood Vessels هى القنوات التى تحمل الدم من القلب إلى أنسجة الجسم المختلفة وبالعكس، وتنقسم إلى شرايين تشكل جهازاً شريانياً وأوردة تشكل جهازاً وريدياً وشعيرات تصل فيما بينهما.

أولا ـ الشرايين

الشريان Artery وعاء دموى سميك مرن الجدار ويحمل الدم من القلب إلى الأنسجة بغض النظر عن نوع الدم الذى يحمله سواء كان مؤكسجاً أو غير مؤكسج، فالشرايين الرئوية تحمل دماً غير مؤكسج. وتزود جدر الشرايين بأعصاب تعمل على ضبط انقباضها وانبساطها مما ينظم ضغط الدم. وتنشأ الشرايين من البطينين، فينشأ الأبهر (الأورطى) من البطين الأيسر وينشأ الشريان الرئوى من البطين الأيمن. وعند فتحات هذه الشرايين تقع الصمامات النصف قمرية Semilunar Valves والتى تفتح فقط إلى الشرايين فيمنع رجوع الدم عند انبساط البطينين.

ويتركب جدار الشريان من ثلاث طبقات :

- طبقة خارجية تتكون من نسيج ضام تحتوى على ألياف مرنة كثيرة.
- طبقة وسطى تتكون من ألياف عضلية لا إرادية تتحكم بانقباضها وانبساطها فى حجم التجويف الداخلى للشريان، وبالتالى تتحكم فى كمية الدم المارة فيه.
- طبقة داخلية تتكون من خلايا طلائية بسيطة.

ثانيا ـ الأوردة

الوريد Vein وعاء دموى أقل سمكاً ومرونة من الشريان ويحمل دماً غير مؤكسج أو دماً مؤكسجاً من أجزاء الجسم المختلفة إلى القلب. وبينما يكون للشرايين نبضات والضغط داخلها مرتفع فإن الأوردة ليس لها نبضات والضغط داخلها منخفض. وتزود الأوردة الكبيرة كتلك الموجودة فى الأطراف الخلفية

بصمامات تبرز من جدرها الداخلية وعلى مسافات منتظمة وأطرافها الحرة تكون باتجاه القلب فتمنع بذلك ارتداد الدم فى الاتجاه العكسى.

ثالثاً- الشعيرات الدموية

الشعيرات الدموية Blood Capillaries هى أوعية دقيقة جداً تصل الشرينات Arterioles والوريدات Venules معاً. ويتكون جدارها من نسيج طلائى بسيط ذى صف واحد من الخلايا Endothelium، تقابل الطبقة الداخلية فى كل من الشرايين والأوردة. وتعتبر الشعيرات الدموية مفتاح الجهاز الدورى فى الانسان لأنها تتميز بخاصية النفاذية التى تسبب سهولة انتشار الغذاء والفضلات بين الدم والسائل المحيط بخلايا الأنسجة. هذا وقد أمكن تقييم مجموع أطوال هذه الشعيرات الدموية فى الانسان بما يزيد عن ٨٠٠٠٠ كيلو متراً.

اللمـــف

يسرى فى الجسم سائل يشبه بلازما الدم تقريباً، ويختلف اسمه حسب موقعه بالجسم. فإذا وجد بين الخلايا سمى بالسائل بين الخلوى Intercellular Fluid. وإذا وجد فى أوعية خاصة غير الأوعية الدموية سمى باللمف Lymph. هذا ويمكن تعريف اللمف بأنه سائل بين خلوى تحمله أوعية خاصة تسمى الأوعية اللمفية. وهو يرشح من خـلال جدران الشعيرات الدموية الدقيقة محملا بالأكسجين والمواد الغذائية وبعض خلايا الدم البيضاء التى تهاجر من الدم لتؤدى وظيفتها فى مناطق مختلفة من الجسم. ويخلو اللمف من خلايا الدم الحمراء والبروتينات حيث أن هذه لا تتمكن من النفاذ خلال جدران الشعيرات الدموية.

ويمكن إيجاز الفروق بين اللمف والدم فيما يلى :

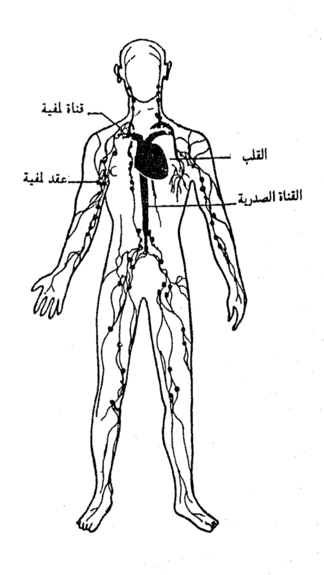
- اللمف سائل عديم اللون تقريباً لا يحتوى على خلايا الدم الحمراء لكنه يحتوى على خلايا لمفية.

ـ اللمف يحتوى على قدر من البروتينات أقل مما فى الدم.
ـ اللمف يتكون كسائل دموى بين خلوى يرشح من خلال الشعيرات الدموية الشريانية ثم يسيل ويغمر خلايا الجسم.

للملف أهمية بالغة فى الجسم. فهو وسيط بين الدم والأنسجة ويغمر بما فيه من مواد غذائية ذائبة وأكسجين خلايا الجسم. وهكذا تتم عملية التبادل بين اللمف وهذه الخلايا. فتنتشر المواد الغذائية الذائبة والأكسجين إلى الخلايا التى يلامسها. وفى المقابل فإن الفضلات النيتروچينية وثانى أكسيد الكربون التى يكون تركيزها عالياً فى الخلايا تنتشر ببساطة من خلايا الجسم إلى اللمف المحيط بها. أى أنه يمكن القول بأن اللمف يمد أنسجة الجسم بحاجتها من مواد غذائية ذائبة وأكسجين وهرمونات وغيرها. بينما يحمل منها نواتج العمليات الأيضية التى يريد الجسم أن يتخلص منها كالمواد النيتروچينية وثانى أكسيد الكربون إلى الدم. ويتم ذلك كله من خلال نفاذ وعودة بعض سوائل اللمف خلال جدران الشعيرات الدموية. وهكذا يساعد اللمف على التوازن المائى والأسموزى فى الجسم. أما ما قد يتخلف من اللمف فى الأنسجة فإنه ينفذ إلى داخل أوعية خاصة دقيقة جداً تعرف بالشعيرات اللمفية. وهذه تتميز بكثرة الثقوب بها، فتنفذ من خلالها البروتينات الموجودة باللمف. ويدخل اللمف إلى الدورة الدموية بعد أن يمر من خلال الشعيرات اللمفية ثم الأوعية اللمفية ثم العقد اللمفية ثم القنوات اللمفية.

ويوضح شكل (٢٣) تركيب الجهاز اللمفى لدى الانسان. ويتضح من الشكل أن الشعيرات اللمفية تتحد معاً لتكون أوعية لمفية أكبر فأكبر حتى تكون فى النهاية القناتين اللمفيتين الرئيسيتين الصدريتين اليمنى واليسرى واللتين تحملان اللمف وتصبانه فى الوريدين تحت الترقويين الأيمن والأيسر ومنه إلى الوريد الأجوف العلوى فالقلب فالدورة الدموية العامة فى الجسم.

وهكذا نستطيع القول أن اللمف يسير باتجاه واحد فقط فى الأوعية اللمفية وأن وجود الصمامات فيها يحول دون ارتداد السائل فى الاتجاه العكسى، فضلا عن أن اللمف يتدفق داخل الأوعية اللمفية ببطء كبير (عكس تدفق الدم) وأن انقباض عضلات الجسم المختلفة يقوم بدفع اللمف فى أوعيته اللمفية.



شكل (٢٣)
الجهاز اللمفى فى الانسان

من الأعضاء اللمفية فى الجسم الطحال واللوزتان والعقد اللمفية والغدة الزعترية (التيموسية). ويتركب كل عضو منها من نسيج ضام شبكى يحتوى على خلايا لمفية وخلايا دم بيضاء أكولة وخلايا منتجة للأجسام المضادة. كما قد يوجد ببعضها عدد كبير من خلايا الدم الحمراء كما فى الطحال.

١ـ الطحـــــال

الطحال Spleen عضو لمفى مستطيل الشكل مفلطح لونه أحمر قاتم ووزنه فى الانسان حوالى ١٨٠ جرام. وهو يقع فى الناحية اليسرى من الجسم أسفل الضلوع الأخيرة. ويلعب دوراً هاماً فى عملية تكوين وهدم عناصر الدم ولا سيما خلايا الدم الحمراء. وأهم وظائفه فى الجسم هى :

١ ـ فى المرحلة الجنينية قبل الولادة يساهم مع الكبد فى صنع خلايا الدم الحمراء، لكنه يفقد هذه الوظيفة بعد الولادة.

٢ ـ يقوم بخزن الدم على صورة مركزة ويفرغه فى الدورة الدموية فى الحالات الطارئة كالنزف والحمل والتسمم بأول أكسيد الكربون.

٣ ـ يلعب دوراً فى المناعة بفضل وجود العقد اللمفية التى تصنع خلايا الدم البيضاء اللمفية.

٤ ـ يعتبر مقبرة خلايا الدم الحمراء بفضل وجود الخلايا البلعمية المبطنة للجيوب الدموية التى تقوم بالتقاط الخلايا الحمراء التالفة من جراء انقضاء أعمارها.

٥ ـ يعمل على تنقية الدم من الميكروبات بفضل وجود الجيوب الدموية المبطنة بخلايا بلعمية تمتص الأجسام الغريبة.

ورغم كل هذه الوظائف التى يقوم بها الطحال فإن الجسم يستطيع

الاستغناء عنه. ولهذا قد يستأصل جراحياً فى حالات انفجاره أو تضخمه فى أمراض اللوكيميا (سرطان الدم) أو الأنيميا. وعندئذٍ تقوم الخلايا الشبكية البطانية فى أجزاء الجسم الأخرى بتأمين وظائف الطحال.

٢ ـ اللوزتان

اللوزتان Tonsils عبارة عن ثلاثة أزواج من التراكيب اللمفية التى لها وظيفة مناعية هامة. إذ أنها تحتوى على خلايا لمفية تهاجر إلى الدم بين الحين والحين.

٣ ـ العقد اللمفية

تأخذ العقد اللمفية Lymph Nodes أشكال حبات الفاصوليا، وأحجامها أصغر أو أكبر قليلا من ذلك. وهى موزعة فى أجزاء مختلفة من الجهاز اللمفى. وقد تظهر كتجمعات أيضاً فى مناطق من الجسم كالعنق والإبط وعند الفخذين. وللعقد اللمفية أهمية بالغة للجسم حيث أنها تكون الخلايا اللمفية ذات الوظيفة الوقائية.

٤ ـ الغدة الزعترية أو التيموسية

تقع الغدة الزعترية Thymus Gland فى جسم الإنسان خلف عظمة القص فى أعلى الصدر عند تفرع القصبة الهوائية إلى شعبتين فوق القلب. وهى توجد كبيرة الحجم أثناء مرحلة الطفولة وتزداد فى الكبر حتى تصل إلى أقصى حجم لها عند سن البلوغ ثم تأخذ فى الضمور مع تقدم العمر حتى تختفى فى مرحلة الرجولة. ونظراً لأنها تحتوى على خلايا لمفية فيقترح أنها تعمل على تكوين المناعة لأجسام الأجنة والصغار. ومما يؤكد ذلك أنه قد استخلصت من هذه الغدة مادة تدعى THF تستخدم لعلاج مرض نقص المناعة المكتسب (الإيدز).

الفصل الثامن

التنفـــــــس

Respiration

الفصل الثامـــــن

التنفـــــــس

مفهوم التنفس

التنفس Respiration هو عملية امداد خلايا وأنسجة الجسم المختلفة بالأكسجين والتخلص من ثانى أكسيد الكربون، ولا يستطيع الانسان الاستغناء عن الأكسجين أكثر من ثوان معدودة، فهو ضرورى لجميع عمليات التغذية وانتاج الطاقة اللازمة لحياة الخلايا. وبدون توفر الأكسجين فإن معظم خلايا المخ تموت خلال فترة لا تتعدى ٥ دقائق. هذا هو المفهوم البسيط للتنفس. ويطلق على عملية تبادل غازى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون بين الهواء والجسم مصطلح التنفس الخارجى External Respiration . أما عملية تبادل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون بين الدم وأنسجة الجسم فيطلق عليها التنفس الداخلى Internal Respiration . أما من الناحية الكيميائية فعملية التنفس هى سلسلة من التفاعلات الكيميائية تتم داخل الخلايا وفيها تتأكسد المواد الغذائية وينتج عنها انطلاق الطاقة اللازمة للأنشطة الحيوية للجسم. كما ينتج ثانى أكسيد الكربون الذى يتحتم التخلص منه مع دورة الدم فى الجسم. ويطلق على هذا المفهوم الكيميائى التنفس الخلوى Cellular Respiration.

معامل التنفس *Respiratory Quatient*

يطلق مصطلح معامل التنفس على النسبة بين حجم ثانى أكسيد الكربون

الناتج إلى حجم الأكسجين المستهلك فى عملية التنفس. وتدل قيمة هذا المعامل على نوع الطعام المؤكسد فى الجسم. فمعامل التنفس للكربوهيدرات يساوى ١ وللبروتين يساوى ٠,٧٩ وللدهون يساوى ٠,٧١ .

آلية التنفـــس

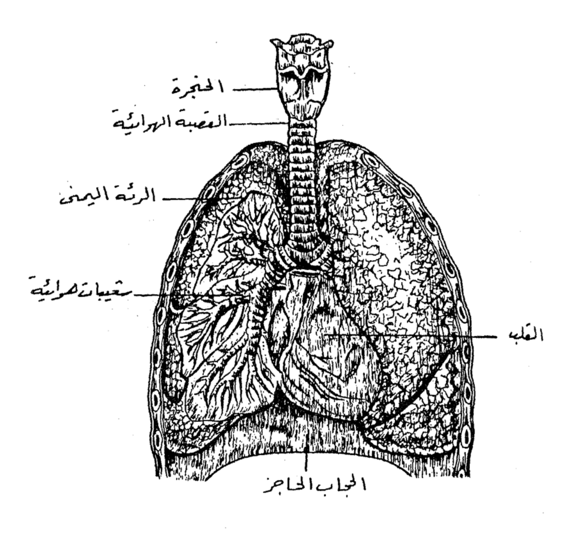
يدخل الهواء إلى الجهاز التنفسى للانسان والثدييات عموماً (شكل ٢٤) بفعل حركة عضلة الحجاب الحاجز، أو بفعل عضلات الضلوع، أو نتيجة لعملهما معاً. وتتميز آلية التنفس إلى عمليتين هما :

١ ـ عملية الشهيق *Inspiration*

وهى تعنى دخول الهواء إلى الرئتين عن طريق الممرات الهوائية التى تبدأ من فراغ الأنف فالبلعوم فالحنجرة فالقصبة الهوائية فالشعب الرئوية فالشعيبات الرئوية وأخيراً الحويصلات الهوائية. وهناك يتم تبادل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون. ويحدث ذلك عندما تنقبض عضلة الحجاب الحاجز، فيقل تحدبه أو ينبسط من جهة الصدر. وبذلك يتسع التجويف الصدرى، فتتمدد الرئتان تبعاً لذلك ويتخلخل الهواء الموجود فيهما ويصبح ضغطه أقل من الضغط الجوى للهواء الخارجى. لذا يندفع الهواء الخارجى عن طريق الأنف عبر الممرات الهوائية إلى الرئتين.

٢ ـ عملية الزفير *Expiration*

وهى عملية معاكسة تعقب عملية الشهيق، وتحدث نتيجة لارتداد عضلة الحجاب الحاجز التى تتقوس جهة الصدر لارتخاء عضلاتها. فيقل تبعاً لذلك حجم الفراغ الصدرى ويضغط على الرئتين وعلى الهواء فيهما، مما يسبب خروج هواء الزفير نتيجة لزيادة ضغط الهواء الداخلى عن الهواء الخارجى. ويسلك هواء الزفير طريق معاكس للطريق التى سلكها هواء الشهيق.



شكل (٢٤)
الجهاز التنفسي في الانسان

التنظيم العصبي للتنفس

في النخاع المستطيل عدة مراكز عصبية لأفعال انعكاسية هامة. من هذه المراكز العصبية المركز التنفسي Respiratory Center. ويرسل هذا المركز سيالاته العصبية بصورة تلقائية عن طريق أعصاب معينة إلى عضلة الحجاب الحاجز وعضلات الضلوع فيحفزها على الانقباض. وإذا توقفت هذه الإشارات

العصبية ـ بسبب توقف المركز العصبى عن إرسالها ـ ارتخت هذه العضلات. وهكذا فإن عدد حركات التنفس وقوتها يتوقفان على ما يرد من المركز التنفسى من سيالات عصبية.

ويمكن تلخيص العوامل التى تؤثر على المركز التنفسى تنشيطاً أو تثبيطاً بعاملين : أحدهما كيميائى يسيطر على حركة الشهيق والآخر عصبى يسيطر على حركة الزفير. ويتم ذلك كما يلى :

ـ **العامل الكيميائى** : ويقصد به تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الدم. فكلما زاد تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الدم زاد الحفز العصبى للمركز التنفسى، وبالتالى تزداد السيالات العصبية التى يرسلها إلى عضلات الحجاب الحاجز وعضلات الضلوع المسئولة عن الحركات التنفسية، فيؤدى ذلك إلى شهيق جديد. وإذا كان تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الدم قليلا يكون حفز المركز التنفسى قليلا. وبذلك تبطؤ الحركات التنفسية.

ـ **العامل العصبى**: ويقصد به الامداد العصبى إلى جدر الحويصلات الهوائية. إذ من المعروف أن جدر الحويصلات الهوائية مزودة بعدد كبير من نهايات الأعصاب التى تتجمع وتنتهى إلى المركز التنفسى فى النخاع المستطيل. ولهذا فإن انتفاخ هذه الحويصلات وتمدد جدرها يؤدى إلى سريان السيالات العصبية فى تلك الأعصاب إلى المركز التنفسى فتثبطه وتجعله يتوقف عن إرسال سيالاته العصبية والتى تؤدى إلى انقباض العضلات التنفسية. وبالتالى ترتخى العضلات المسؤولة عن الحركات التنفسية. فيضيق تجويف الصدر وتعود الحويصلات الهوائية إلى الانكماش ويخرج هواء الزفير. وبعودة الحويصلات الهوائية إلى الانكماش تتوقف السيالات العصبية التى كانت تسرى من جدرها إلى المركز التنفسى أثناء انتفاخها. وبذلك يتوقف تثبيط المركز التنفسى ويصبح عندئذٍ خاضعاً لتأثير أو سيطرة تركيز ثانى أكسيد الكربون الموجود فى الدم. وهكذا نستنتج أن الأعصاب الحساسة المنتشرة فى جدر الحويصلات الهوائية لها

تأثير معاكس لما يحدثه تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الدم. وبعبارة أخرى تعتبر صمام أمان يمنع عملية الشهيق من تعدى الحد الأمثل المناسب.

أهمية التنفس

تقوم الرئتان من خلال عملية التنفس بعدة وظائف هامة تتلخص فيما يلى :

١ ـ تزويد الجسم بالأكسجين وطرد ثانى أكسيد الكربون.
٢ ـ المحافظة على التوازن الحامضى القاعدى أو تركيز أيون الهيدروجين (pH) .
٣ ـ المحافظة على توازن حرارة الجسم، وذلك بتقليل حرارة الجسم المرتفعة نتيجة لعمليات الاحتراق والبناء والهدم. لذا نلاحظ أن الهواء الخارج من الجسم يكون حاراً مما يقلل من حرارة الجسم الداخلية.

تبادل الغازات

يقصد بتبادل الغازات نقل الأكسجين من الرئتين إلى خلايا الجسم ونقل ثانى أكسيد الكربون من خلال الجسم إلى الرئتين. وتقوم خلايا الدم الحمراء بهذه الوظيفة. وعملية تبادل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون بين الرئتين والأوعية الدموية، وبين الأوعية الدموية وخلايا الجسم هى عملية معقدة تمر بعدة حواجز هى : جدر الحويصلات الهوائية ثم السائل الخلالى ثم جدر الأوعية الدموية ثم البلازما ثم جدر خلايا الدم الحمراء، لكى تصل إلى الهيموجلوبين أو بالعكس.

وقد سبق تفصيل آلية نقل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون فى الفصل السابق (دوران الدم) عند الحديث عن وظائف خلايا الدم الحمراء.

العوامل المؤثرة على عملية التنفس

١ ـ الاجهاد العضلى

يؤدى الاجهاد العضلى إلى زيادة كمية ثانى أكسيد الكربون فى الدم،

ولذلك فلكى يتخلص الجسم من الكمية الزائدة من هذا الغاز لابد من زيادة معدل وعمق التنفس.

٢ ـ تركيب الهواء المستنشق

من المعروف أن زيادة النسبة المئوية لثانى أكسيد الكربون فى هواء التنفس يسبب زيادة فى كميته فى هواء الرئتين. وهذا يؤثر بالطبع على كيمياء الدم. ولذا يزيد الجسم من معدل التنفس لكى يتخلص من كمية ثانى أكسيد الكربون الزائدة. وهذا ما يحدث بالضبط عند تعرض الانسان لهواء غير نقى فى أماكن رديئة التهوية.

٣ ـ الضغط الجوى

إذا تعرض الانسان لضغط جوى قليل (أقل من الضغط الجوى العادى) كما يحدث لسكان المناطق الجبلية العالية فإن ذلك يعنى نقصاً فى نسبة أكسجين الهواء. وبالتالى يصاب الانسان بالدوخة. فيلجأ الجسم لتعويض نقص الأكسجين بزيادة سرعة التنفس أو زيادة عدد خلايا الدم الحمراء.

نقص الأكسجين *Hypoxia*

يتعلق هذا المصطلح بمدى ورود الأكسجين إلى الخلايا. وقد تزيد حالة نقص الأكسجين إلى انعدام وصوله إلى الخلايا Anoxia . ولنقص الأكسجين أسباب هى :

١ ـ **نقص دخول الأكسجين إلى الجسم** : ويسبب ذلك نقص الضغط الجزيئى للأكسجين فى الدم (أى نقص تركيز الأكسجين فى الدم) . ويحدث فى حالات المرتفعات العالية جداً حيث ينخفض الضغط الجزيئى للهواء بما فيه الأكسجين، أو استنشاق هواء فاسد يحتوى على كمية ضئيلة من الأكسجين، أو التنفس السريع، أو أمراض الرئتين، أو أمراض القلب الخلقية التى فيها اتصال بين طرف القلب الأيمن والأيسر

٢ـ فقر الدم : ويؤدى ذلك إى نقص الهيموجلوبين المسئول عن نقل الأكسجين. ويكون الضغط الجزيئى للأكسجين ونسبة تشبعه طبيعيين. ويحدث فى جميع أنواع فقر الدم أو التسمم بغاز أول أكسيد الكربون الذى يتحد مع الهيموجلوبين بنفس الطريقة التى يتحد بها الأكسجين معه، ولكن بشراهة تفوق اتحاد الأكسجين بواحد وعشرين مرة مما يؤدى إلى نقص الأكسجين الواصل إلى الأنسجة.

٣ـ التسمم: يؤدى التسمم بمادة سامة مثل السيانيد إلى تسمم العصارات الموجودة فى الأنسجة فتصبح الأنسجة نفسها معطلة وغير قادرة على الاستفادة من الأكسجين الذى يكون ضغطه الجزيئى طبيعياً ثم يرتفع فى الأوردة ليصبح أعلى مما هو فى الشرايين.

تأثير نقص الأكسجين

كلما ارتفعنا إلى أعلى انخفض الضغط الجزيئى للأكسجين وانخفضت نسبة تشبع الدم بالأكسجين. وعند ارتفاع ٢٤٠٠ متراً فوق سطح البحر تنخفض نسبة تشبع الأكسجين إلى ٩٣٪. وحتى هذه النسبة تستجيب المستقبلات الكيميائية Chemoreceptors بشكل جيد لهذا النقص فى الأكسجين. فتعمل على زيادة التهوية الرئوية. وتستمر الاستجابة حتى ارتفاع ٤٨٠٠ – ٦٠٠٠ متراً، حيث تصل التهوية الرئوية إلى ذورتها وهى ٦٥٪ أعلى من الحد الطبيعى. وبعد هذا الارتفاع لا تستطيع المستقبلات الكيميائية زيادة التهوية الرئوية عن ذلك

وتبدأ أعراض نقص الأكسجين بالظهور ابتداءاً من ٣٦٥٠ متراً. وأهم هذه الأعراض هى النعاس والتعب العضلى والصداع والقىء والشعور بفرط الانتشاء. وتشتد هذه الأعراض حدة كلما ازداد الارتفاع. فعند ارتفاع ٧٠٠٠ متراً قد تحدث تشنجات وأحياناً إغماء Syncope.

وإذا ظل الانسان فى المرتفعات فترة من الزمن فإنه يتأقلم تدريجياً. فيقل تأثير نقص الأكسجين على الجسم تدريجياً، ويتم ذلك بزيادة التهوية الرئوية لتعويض نقص الأكسجين وزيادة الأوعية الدموية فى الرئتين، وزيادة عدد خلايا الدم الحمراء، وبالتالى زيادة هيموجلوبين الدم لنقل أكبر قدر من الأكسجين.



Excretion

الفصل التاســـع

الاخـــــــراج

مفهوم الاخراج

يقصد بالاخراج Excretion التخلص من جميع الفضلات التى تتكون داخل الجسم بما فى ذلك بقايا الطعام غير المهضوم ونواتج عمليات الأيض. وأهم المواد الاخراجية هى غاز ثانى أكسيد الكربون والمواد النيتروجينية الناتجة من أيض البروتينات والأملاح المعدنية الزائدة عن حاجة الجسم.

وأعضاء الاخراج فى أجسام الفقاريات عديدة فهى الجلد والرئتان والكبد والكليتان. ويناط بالكليتين عبء بالغ فى الاخراج لتعقد دورهما فى عملية تكوين البول.

الجهاز البولى

يلعب الجهاز البولى دوراً هاماً فى حفظ توازن خلايا الجسم، وذلك من خلال العمليات الحيوية الآتية :

١ ـ افراز البول، وبالتالى الحفاظ على توازن الماء فى الجسم وطرد الزائد عن حاجته.

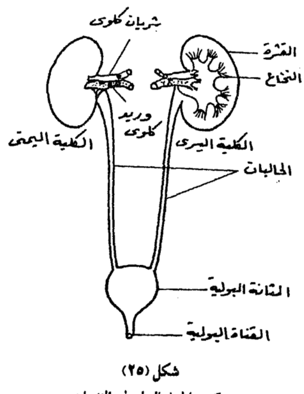
٢ ـ التخلص من المواد النيتروجينية على شكل بولينا (يوريا) مع البول.

٣ ـ التخلص من الأملاح المعدنية الزائدة عن حاجة الجسم، وبالتالى التوازن الاسموزى لخلايا الجسم.

٤ ـ طرد المواد الغريبة التى قد تدخل تيار الدم كالسموم والعقاقير.
٥ ـ حفظ تركيز أيون الهيدروجين (pH) عند المعدل الطبيعى.
٦ ـ تنظيم عملية تكوين الدم بواسطة تكوين الهرمون المولد لخلايا الدم الحمراء Erythropoietin الذى يثير نخاع العظام لتوليد خلايا الدم الحمراء.

تركيب الجهاز البولى

ويتركب الجهاز البولى فى الانسان وفى الثدييات عموماً من كليتين وحالبين ومثانة بولية وقناة بولية شكل (٢٥).



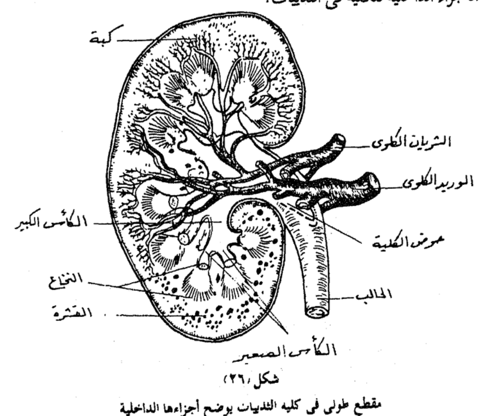
شكل (٢٥)
تركيب الجهاز البولى فى الثدييات

أولا ـ الكليتان *Kidneys*

تشبه الكلية حبة الفاصوليا فى شكلها. إذ يبدو سطحها الخارجى محدباً والسطح الداخلى مقعراً وفى وسطه سرة تتصل به قناة الحالب والأوعية الدموية والأعصاب الصادرة والداخلة إلى الكلية. وتقع الكليتان فى الجهة الظهرية من

تجويف البطن على جانبي العمود الفقرى. وهما مدفونتان فى أنسجة دهنية تعمل على تثبيتهما فى مكانهما باستمرار. وغالباً ما تكون الكلية اليسرى أعلى قليلا من اليمنى.

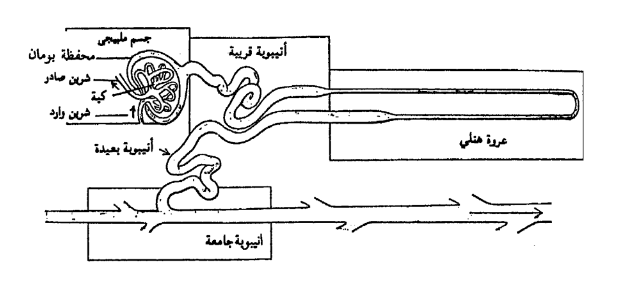
وتتكون الكلية من طبقتين : خارجية وتسمى القشرة Cortex وهى داكنة الاحمرار لاحتوائها على أوعية دموية كثيرة، وداخلية وتسمى النخاع Medulla وهى تمتد إلى الداخل مكونة بروزات هرمية الشكل تدعى أهرامات ملبيجى Malpighian Pyramids. ويحيط النخاع بتجويف داخلى يعرف بحوض الكلية Kidney Pelvis. ويتصل بحوض كل كلية وعاءان دمويان رئيسيان هما: الشريان الكلوى Renal Artery الذى يحمل الدم المؤكسج لتغذية الكلية والوريد الكلوى Renal Vein الذى يحمل الدم غير المؤكسج إلى خارج الكلية لكى يصبه فى الوريد الأجوف السفلى ومنه إلى القلب. ويوضح شكل (٢٦) الأجزاء الداخلية للكلية فى الثدييات.



شكل (٢٦)

مقطع طولى فى كليه الثدييات يوضح أجزاءها الداخلية

ومن الناحية التشريحية تتألف الكلية من وحدات أنبوبية صغيرة جداً تسمى الوحدات البولية Nephrones. ويبلغ عددها مليوناً ومائتى ألف وحدة بولية. ويفوق هذا العدد حاجة الكلية، ذلك لأن بعضها قد يتعطل أو يفسد. والوحدة البولية هى وحدة التركيب والوظيفة فى الكلية. وتبدأ الوحدة البولية فى منطقة القشرة وتمتد إلى منطقة النخاع. ويبين الشكل (٢٧) تركيب الوحدة البولية فى كلية الثدييات.



شكل (٢٧)

تركيب الوحدة البولية فى كلية الثدييات

وتتركب كل وحدة بولية من الأجزاء التالية:

١ ـ جسم ملبيجى *Malpighian Corpuscle*، وهذا يتكون من كيس مزدوج الجدار يسمى محفظة بومان Bowman's Capsule تحصر بداخلها مجموعة كبيرة من الشعيرات الدموية، يطلق عليها كبة Glomerulus. وتقع هذه الكبة بين شريانين هما الشرين الوارد Afferent Arteriole وهو فرع دقيق من الشريان الكلوى الذى يجلب الدم إلى الكبة والشرين الصادر Efferent Arteriole الذى يحمل الدم إلى خارج الكبة ومحفظة بومان.

٢ ـ الأنيبوبة الكلوية *Renal Tubule*، وهى عبارة عن أنيبوبة رفيعة جداً وملتوية، وتتميز إلى الأجزاء التالية:

أ ـ الأنيبوبة القريبة *Proximal Tubule*، وتشكل الجزء الأول من الأنيبوبة الكلوية وتقع فى قشرة الكلية.

ب ـ عروة هنلى *Henle's Loop*، وهى أنيبوبة منحنية على شكل حرف U وموجودة فى نخاع الكلية. وتتألف من فرعين، هابط وصاعد.

جـ ـ الأنيبوبة البعيدة *Distal Tubule*، وهى توجد فى قشرة الكلية. وتصب مع نظيراتها فى أنيبوبة أوسع تسمى الأنيبوبة الجامعة Collecting Tubule.

د ـ الأنيبوبة الجامعة *Collecting Tubule*، وهى التى يصب فيها البول من عدة وحدات بولية. وتتجه من القشرة نحو النخاع موازية لعروة هنلى ثم تفتح بالقرب من أهرامات ملبيجى حيث تفرغ محتواها فى حوض الكلية الذى يجمع البول قبل أن يمر إلى الحالبين ثم إلى المثانة البولية.

ثانياً ـ الحالبان *Ureters*

الحالبان هما قناتا الكليتين اللذان يخرجان منها ناقلين البول من حوض الكلية إلى المثانة البولية. والحالب عبارة عن قناة عضلية أليافها غير إرادية، ويقع نصفها فى تجويف البطن ونصفها الآخر فى تجويف الحوض.

ثالثاً ـ المثانة البولية *Urinary Bladder*

المثانة البولية هي كيس عضلي يقع في تجويف الحوض ويستخدم لخزن البول بشكل مؤقت حتى يحين تفريغه. ويتكون جدار المثانة من عضلات ملساء. يضيق الجزء السفلي منها ليكون ما يعرف بعنق المثانة الذى يتميز باحتواءه على عضلات دائرية عاصرة تتحكم فى اخراج البول. وللمثانة القدرةعلى الانقباض والانبساط لدرجة أنها تتسع فى المعدل لحوالى لتر من البول فى آن واحد. وللمثانة ثلاث فتحات، اثنتان منها تتصلان بالحالبين والثالثة تفتح على الفتحة البولية. وعندما تمتلىء المثانة بالبول ينقبض جدارها انقباضات متوالية انذاراً باخراج البول. وعند التبول تنقبض عضلاتها وترتخى العضلة العاصرة فيمر البول فى مجرى القناة البولية إلى الخارج عبر الفتحة البولية.

رابعاً ـ القناة البولية *Urethera*

القناة البولية هى القناة الموصلة التى تنقل البول من المثانة البولية إلى الفتحة البولية وهى عضلية ملساء. وتشترك عند الذكر فى نقل البول والسائل المنوى بينما عند الأنثى تكون خاصة بالبول فقط.

عمل الوحدة البولية

يتمثل عمل الوحدة البولية فى تكوين البول الذى يتلخص فى ثلاث مراحل هى الترشيح واعادة الامتصاص والافراز.

أولا ـ الترشيح *Filteration*

نظراً لاختلاف القطر بين الشرين الوارد Afferent Arteriole والشرين الصادر Efferent Arteriole فى الكبة يتكون فى شعيراتها الدموية ضغط عال قد يصل إلى ٧٠ ملم زئبق بالمقارنة بحوالى ٢٥ ملم زئبق للضغط الشعيرى فى الشعيرات الدموية فى سائر أنحاء الجسم. وينتج عن هذا الضغط العالى أن يرشح

الجزء السائل من الدم إلى خارج الشعيرات. فينفذ خلال جدران محفظة بومان، ويسمى هذا الجزء من الدم الخارج من الشعيرات بالراشح Filterate. وهو يتكون بمعدل ١٢٥ مل^{3} فى الدقيقة أى ما يعادل ١٨٠ لتر يومياً. وهذا الراشح يشبه تماماً بلازما الدم فيما عدا خلوه من المواد البروتينية التى لا يمكن أن تترشح لكبر حجم جزيئاتها. وبذلك لا يخسر الدم بروتيناته فتبقى فيه. ولكن الراشح يحوى بالإضافة إلى الماء كمية كبيرة من الجلوكوز والأحماض الأمينية والأحماض الدهنية والصوديوم والبوتاسيوم والكلور والبيكربونات والهرمونات والفيتامينات وغيرها من المواد الهامة التى لا يمكن للجسم الاستغناء عنها. لذلك ففى المرحلة التالية يعاد امتصاص معظم هذه المواد من قبل جدران الأنيبوبة الكلوية بمعدلات متفاوتة فى أجزاءها الأربعة (القريبة وعروة هنلى والبعيدة والجامعة). وتبلغ كمية المواد التى يعاد امتصاصها حوالى ٩٩٪ من كمية الراشح. ويتبقى ١٪ منه فقط يخرج على شكل بول.

ثانياً ـ اعادة الامتصاص *Reabsorption*

يمر الراشح من جدران محفظة بومان إلى الأنيبوبة الكلوية حيث يحدث فيها اعادة امتصاص الماء والمواد النافعة كالجلوكوز والصوديوم والبوتاسيوم والكلور والبيكربونات وغيرها.

١ ـ اعادة امتصاص الماء

تتم اعادة امتصاص الماء فى الأنيبوبة القريبة بنسبة ٨٨٪ وفى الأنيبوبتين البعيدة والجامعة بنسبة ١٢٪. ولولا اعادة امتصاص الماء لتعرض الجسم إلى نقص شديد فى هذا المحتوى. وبالتالى تعرض لخطر الجفاف والموت. وتحافظ اعادة امتصاص الماء على نسبة ماء الجسم ثابتة. ويكون الامتصاص نتيجة لاختلاف فى القوى الأسموزية.

وتقع عملية اعادة امتصاص الماء تحت تأثير هرمون يسمى الهرمون المضاد

للادرار ويصنع هذا الهرمون فى منطقة تحت السرير البصرى التى تقع فى قاعدة المخ ثم يتجمع فى الجزء الخلفى من الغدة النخامية. ومن هذا الجزء يفرز إلى الدم وينتقل إلى الكليتين حيث يقوم بدوره فى أجزاء الأنيبوبة الكلوية، القريبة والبعيدة والجامعة. فيجعل جدرانها شديدة النضوحية للماء. وبذلك ينتقل الماء من أجزاء الأنيبوبة الكلوية الثلاثة إلى الدم. ويحدد تركيز هذا الهرمون فى الدم كمية الماء الممتص فى أجزاء الأنيبوبة الكلوية الثلاثة. وتوجد علاقة بين كمية الماء فى الجسم وكمية هذا الهرمون المفرز، فعند زيادة ماء الجسم يقل أو ينعدم افراز هذا الهرمون. وهذا يؤدى إلى جعل جدر أجزاء الأنيبوبة الكلوية الثلاثة غير ناضحة للماء. فتخرج كميات كبيرة من الماء مع البول. وتدعى هذه الحالة بالادرار المائى التى هى وسيلة فعالة للتخلص من الماء الزائد فى الجسم. وفى بعض الحالات يقل افراز هذا الهرمون لتلف قد يصيب منطقة تحت السرير البصرى. وهذا يؤدى إلى كثرة الادرار مع كثرة تناول الماء. وتدعى هذه الحالة مرض السكر الكاذب الذى يشبه مرض السكر من حيث الشعور بالعطش وكثرة الادرار. أما عندما تقل كمية الماء فى الجسم كما يحدث عند الامتناع عن تناول الماء فإن زيادة تركيز مصل الدم والسوائل الجسمية الأخرى يؤدى إلى تحفيز كل من منطقة تحت السرير البصرى والغدة النخامية على صنع وافراز الهرمون المضاد للادرار وبالتالى يؤدى إلى زيادة كمية الماء الممتص من أجزاء الأنيبوبة الكلوية الثلاثة بحيث تقل كمية البول الخارج إلى أقل من لتر فى اليوم الواحد.

٢ ـ اعادة امتصاص الجلوكوز

تتم اعادة امتصاص جميع الجلوكوز الموجود فى الراشح بعملية النقل النشط Active Transport فى الأنيبوبة القريبة. وأقصى تركيز للجلوكوز فى الدم يمكن اعادة امتصاصه هو ١٨٠ ملجم/١٠٠ مل^{٣} من الدم. وعند مرضى السكر تزيد كمية الجلوكور عن هذه القيمة فيخرج الزائد من الجلوكوز مع البول.

٣ ـ اعادة امتصاص الصوديوم

تبلغ كمية الصوديوم المُرشح يومياً حوالى ٥٦٠ جرام، يعاد امتصاص ٥٥٥ جرام منها، ومن ثم تظهر أهمية الكليتين فى الحفاظ على معدل الصوديوم بالجسم. ويتم امتصاص أغلب الصوديوم الموجود فى الراشح (٤٩٠ جرام) فى الأنيبوبة القريبة وذلك بعملية النقل النشط. أما الباقى (٦٥ جرام) فيمتص فى الأنيبوبتين البعيدة والجامعة تحت سيطرة هرمون الألدوستيرون المفرز من قشرة الغدتين الكظريتين. إذ يؤدى افراز هذا الهرمون إلى اعادة امتصاص الصوديوم ويسبب نقص افرازه فقدان كمية أكبر من الصوديوم مع البول.

٤ ـ اعادة امتصاص الكلوريد والبيكربونات

تؤدى اعادة امتصاص الصوديوم بالنقل النشط إلى اعادة امتصاص أيونات الكلوريد والبيكربونات حيث أن ٨٠ ٪ من الصوديوم يكون مصحوباً بالكلوريد و٢٠ ٪ منه مصحوباً بالبيكربونات.

ثالثاً ـ الافراز *Secretion*

تعنى هذه المرحلة بالنقل النشط لجزيئات المواد الغريبة أو بعض مخلفات الأيض كمادة الكرياتينين والستيرويدات وحامض ٥ ـ هيدروكسى إندول استيك 5- Hydroxyindole Acetic Acid واليوريا وحامض البوليك (اليوريك) أو بعض العقاقير والمواد الناتجة عنها كالبنسلين أو الأمونيا أو الهيدروجين. وتضاف كل هذه المواد إلى سائل البول الذى يتجمع فى حوض الكلية، ومنه ينتقل إلى الحالب ثم إلى المثانة البولية حيث يتجمع هناك. ويقوم بعملية الافراز خلايا الأنيبوبة الكلوية فى جميع أجزاءها وبالأخص البعيدة والجامعة منها.

١ ـ افراز الهيدروجين

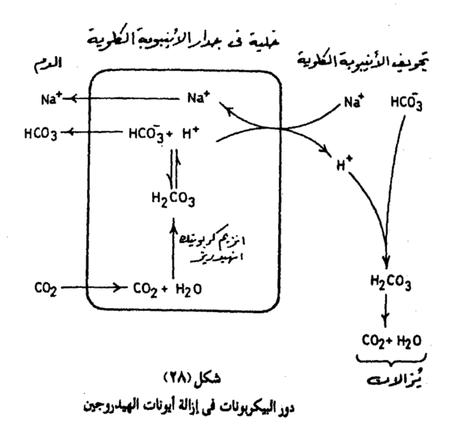
تتكون فى الجسم كميات كبيرة من المركبات الحامضية نتيجة لتمثيل المواد الغذائية المختلفة. فتمثيل الكربوهيدرات والبروتينات والدهون ينتج عنه كمية كبيرة من ثانى أكسيد الكربون، وتمثيل البروتينات الحاوية على

الكبريت يؤدى إلى تكوين حامض الكبريتيك، وتمثيل الأحماض النووية والمركبات الفوسفاتية العضوية ينتج عنه حامض الفوسفوريك. وتقوم الرئتان بالتخلص من معظم ثانى أكسيد الكربون، لكن إذا ما حدث اضطراب فى التنفس فإن ذلك يؤدى إلى حامضية الدم. لذا تقع المهمة حينئذ على الكليتين. فتقوم الكليتان بذلك عن طريق افراز كميات من أيون الهيدروجين فى الأنيبوبة البعيدة.

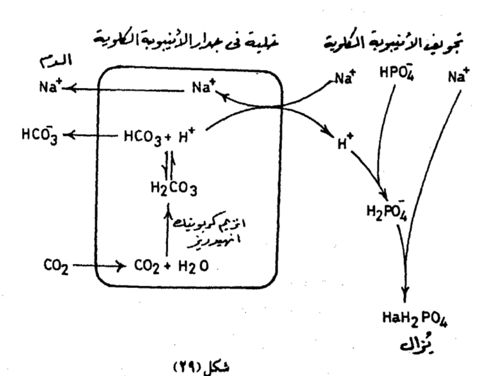
وترتبط عملية افراز أيون الهيدروجين بعملية اعادة امتصاص الصوديوم والبيكربونات والأمونيا والبوتاسيوم عبر جدران الأنيبوبة الكلوية. وتبدأ عملية الافراز بدخول ثانى أكسيد الكربون من السائل البينى ومصل الدم إلى خلايا الأنيبوبة الكلوية. ويتحد ثانى أكسيد الكربون مع الماء مكوناً حامض الكربونيك بمساعدة إنزيم الكربونيك انهيدريز. ثم يتحلل حامض الكربونيك إلى أيون الهيدروجين وأيون البيكربونات. ويفرز أيون الهيدروجين مقابل امتصاص أيون الصوديوم. وتتم العمليتان بالنقل النشط، وهما مرتبطتان معاً. وأيون الهيدروجين المفرز يتحد مع أيون البيكربونات الموجود فى الراشح لتكوين حامض الكربونيك الذى سرعان ما يتحلل إلى ثانى أكسيد كربون وماء. وخلاصة هذه العمليات أنه يتم افراز أيونات الهيدروجين وامتصاص أيونات الصوديوم والبيكربونات. ويوضح شكل (٢٨) دور البيكربونات فى افراز الهيدروجين. وبطريقة مماثلة تعمل كل من الفوسفات (شكل ٢٩) والأمونيا (شكل ٣٠) على إزالة أيونات الهيدروجين.

٢ـ افراز الأمونيا

تقوم خلايا الأنيبوبة الكلوية خاصة فى المنطقتين البعيدة والجامعة منها بنزع الأمونيا من الأحماض الأمينية وبالأخص الجلوتامين، ثم تتحد هذه الأمونيا مع أيون الهيدروجين لتكوين الأمونيوم الذى لا يستطيع أن ينفذ إلى الدم من جديد نظراً لشحنته الكهربية التى يحملها فيتحد داخل تجويف الأنيبوبة الكلوية مع أيون سالب كالكلوريد ومن ثم يخرج فى البول على هذه الصورة.



شكل (٢٨)
دور البيكربونات فى إزالة أيونات الهيدروجين

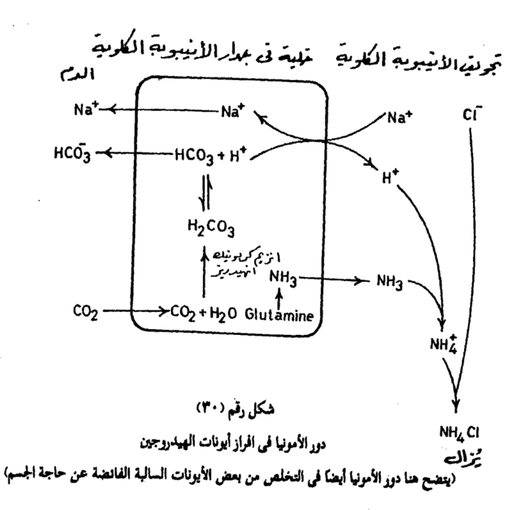


شكل (٢٩)
دور الفوسفات فى إزالة أيونات الهيدروجين

وبذا فإن هذه العملية تعمل على التخلص من الأيونات السالبة الفائضة عن حاجة الجسم. ولولا افراز الأمونيا لتطلب التخلص من الأيونات السالبة التخلص أيضاً من أيونات موجبة كالصوديوم والبوتاسيوم التى لا غنى للجسم عنها. ولعملية افراز الأمونيا أهمية كبرى فى تنظيم حامضية الدم، إذ لولا هذه العملية لتجمع فى البول حامض الهيدروكلوريك ذو التأين العالى ولأدى ذلك إلى توقف عملية افراز أيون الهيدروجين. ويوضح شكل (٣٠) دور الأمونيا فى افراز أيون الهيدروجين والأيونات السالبة.

٣ ـ افراز البوتاسيوم

على الرغم من أن جميع البوتاسيوم الذى يترشح خلال محفظة بومان يعاد امتصاصه فى الأنيبوبة الكلوية القريبة إلا أن كثيراً ما يلاحظ وجود أيونات البوتاسيوم فى البول. هذا البوتاسيوم يفرز من خلايا الأنيبوبة الكلوية البعيدة. ويكون ذلك بالتنافس مع أيونات الهيدروجين وبالتبادل مع أيونات الصوديوم. فإذا زادت كمية البوتاسيوم فى الدم أدى ذلك إلى توقف افراز الهيدروجين ومن ثم حدوث حامضية فى الدم. وبالعكس إذا زادت حامضية الدم أو انخفضت أدى ذلك إلى انخفاض أو ارتفاع افراز البوتاسيوم على التوالى. لذا فإن افراز البوتاسيوم رهن بدرجة حامضية الدم. ولتنظيم كمية البوتاسيوم فى الجسم أثر كبير على كثير من الفعاليات الحيوية كنبض القلب، فارتفاع تركيز البوتاسيوم فى الدم يؤدى إلى توقف القلب.



شكل رقم (٣٠)

دور الأمونيا في افراز أيونات الهيدروجين

(يتضح هنا دور الأمونيا أيضاً في التخلص من بعض الأيونات السالبة الفائضة عن حاجة الجسم)

الفصل العاشر

التوازن الحامضي القاعدي

Acid-Base Balance

الفصل العاشـــــر

التوازن الحامضى القاعدى

مفهوم التوازن الحامضى القاعدى

يقصد بالتوازن الحامضى القاعدى تنظيم أيونات الهيدروجين فى سوائل الجسم، لأن التغير فى هذا التركيز ولو كان طفيفاً يؤدى إلى حدوث تغيرات كبيرة فى التفاعلات الكيميائية والخلوية. والتركيز الطبيعى لأيون الهيدروجين (pH) للسائل داخل الخلايا وللدم الشريانى هو ٧,٤٠ وللدم الوريدى هو ٧,٣٥. وإذا ارتفع هذا التركيز عن ٧,٤٠ يصبح الجسم فى حالة قاعدية Alkalosis، وإذا نقص عن ذلك يصبح فى حالة حامضية Acidosis . والحد الأدنى لتركيز أيون الهيدروجين الذى يستطيع أن يعيش به الانسان لعدة ساعات هو ٧، والحد الأقصى هو ٧,٧ . ومن هنا تظهر أهمية المحافظة على التوازن الحامضى القاعدى.

وتلعب الأجهزة المنظمة Buffer Systems والرئتان والكليتان أدواراً هامة فى تنظيم هذا التوازن والحيلولة دون حدوث الحامضية أو القلوية. وتستطيع الأجهزة المنظمة أن تعمل خلال جزء من الثانية لمنع التغيرات الكبيرة فى تركيز أيون الهيدروجين. بينما تحتاج الرئتان فترة تتراوح من دقيقة إلى ثلاث دقائق حتى تباشر عملها. أما الكليتان وهما أعظم جهاز ينظم تركيز أيون الهيدروجين فى الجسم فلا يعملان قبل مضى عدة ساعات من أجل تعديل تركيز هذا الأيون.

الأجهزة المنظمة *Buffer Systems*

الأجهزة المنظمة هي عبارة عن سوائل في الجسم يحتوى كل منها على مزيج من مركبين كيميائيين يتحد مباشرة مع الحامض أو القاعدة فيمنع التغيرات الكبيرة في تركيز أيون الهيدروجين.

أولاً ـ جهاز البيكربونات المنظم *The Bicarbonate Buffer System*

هو مزيج من بيكربونات الصوديوم $NaHCO_3$ وحامض الكربونيك H_2CO_3 الضعيف. فإذا أضيف حامض قوى مثل الهيدروكلوريك HCl إلى محلول منظم يحوى البيكربونات فإنه يتحد مع البيكربونات معطياً حامض الكربونيك الضعيف الذى يمنع تغير تركيز أيون الهيدروجين:

$$NaHCO_3 + HCl \longrightarrow NaCl + H_2CO_3$$

بيكربونات الصوديوم   حامض الهيدروكلوريك   كلوريد الصوديوم   حامض الكربونيك

ومن جهة أخرى إذا أضيفت قاعدة قوية مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH إلى محلول منظم فيه بيكربونات يحدث التفاعل الآتي:

$$NaOH + H_2CO_3 \longrightarrow NaHCO_3 + H_2O$$

هيدروكسيد الصوديوم   حامض الكربونيك   بيكربونات الصوديوم   الماء

وهنا نرى أن أيون الهيدروكسيد قد اتحد مع أيون الهيدروجين وتكون الماء ومركب آخر هو بيكربونات الصوديوم. فالمحصلة النهائية إذن هى تحول القاعدة القوية هيدروكسيد الصوديوم NaOH إلى قاعدة ضعيفة هى بيكربونات الصوديوم $NaHCO_3$.

ثانياً ـ جهاز الفوسفات المنظم *The Phosphate Buffer System*

هو مزيج من الفوسفات HPO_4 وحامض الفوسفوريك H_3PO_4. ويعمل

نفس عمل جهاز البيكربونات. فإذا أضيف حامض قوى مثل HCl فإنه يستبدل بحامض الفوسفوريك الضعيف. وبالتالى يكون تغير الرقم الهيدروجينى قليلا نسبياً:

$$HCl + Na_2HPO_4 \longrightarrow NaCl + NaH_2PO_4$$

حامض الهيدروكلوريك	ثنائي صوديوم هيدروجين فوسفات	كلوريد الصوديوم	صوديوم ثنائي هيدروجين فوسفات

وإذا أضيفت قاعدة قوية مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH فإنها تستبدل بقاعدة ضعيفة. وبالتالى لا يحدث إلا تغير طفيف فى الرقم الهيدروجينى باتجاه القاعدية:

$$NaOH + NaH_2PO_4 \longrightarrow H_2O + Na_2HPO_4$$

هيدروكسيد الصوديوم	صوديوم ثنائى هيدروجين فوسفات	الماء	ثنائي صوديوم هيدروجين فوسفات

ويتدخل هذا الجهاز المنظم ـ كما ذكر ـ خلال ثوان فقط من بدء الاضطراب الحامضى القاعدى.

ثالثاً ـ جهاز البروتين المنظم *The Protein Buffer System*

هو أكثر الأجهزة المنظمة وفرة فى جسم الانسان ويعمل مثل البيكربونات. ويتركب من الأحماض الأمينية التى يحتوى بعضها على شقوق حامضية حرة (COOH) ويحتوى بعضها على شقوق قاعدية حرة NH_4OH. وتنقسم الأخيرة NH_4OH إلى OH^- و NH_4^+ حيث تتحد الـ OH^- مع H^+ وتعطى الماء H_2O، فينقص تركيز أيون الهيدروجين ولا يتغير تركيزه باتجاه الحامضية إلا قليلا.

رابعاً ـ الرئتان *Lungs*

إذا عجزت الأجهزة المنظمة عن تصحيح الاضطراب الحامضى القاعدى تدخلت الرئتان لمنع تغير تركيز أيون الهيدروجين (pH) عن طريق زيادة معدل

التهوية لطرد مزيد من ثانى أكسيد الكربون. وتتدخل الرئتان خلال ٣-٤ دقائق من بدء الاضطراب الحامضى القاعدى.

ويلعب ثانى أكسيد الكربون دوراً هاماً فى ارتفاع أو انخفاض تركيز أيون الهيدروجين لأنه يتحد مع الماء فينتج حامض كربونيك ضعيف يلعب دور المُعدِّل. فإذا انخفض تركيزه ارتفع تركيز أيون الهيدروجين وانخفضت درجة الحامضية. أما إذا ارتفع تركيز ثانى أكسيد الكربون فيقل تركيز أيون الهيدروجين وبالتالى ترتفع درجة الحامضية.

خامساً ـ الكليتان *Kidneys*

عند تغير تركيز أيون الهيدروجين تخرج الكليتان بولا حامضياً أو قاعدياً. وبذلك تساعد على إعادة تركيز أيون الهيدروجين. ويتم ذلك عن طريق تثبيت تركيز البيكربونات فى الدم عند معدل ٢٦ - ٢٨ mEq/ لتر. وتقوم الكليتان بهذه الوظيفة من خلال الطريقتين الآتيتين:

١ ـ افراز مباشر للأحماض أو القواعد

ويتم ذلك بأن تفرز الكليتان أحماضاً بولية رقمها الهيدروجينى يصل إلى ٤، مثل حامض الفوسفوريك ذى الرقم الهيدروجينى ٦,٨ والكرياتين ذى الرقم الهيدروجينى ٥. وفى المرتفعات العالية وعند النباتيين تتجمع كميات كبيرة من القواعد فى الدم مثل بيكربونات الصوديوم والبوتاسيوم فتقوم الكليتان بالتخلص منها مباشرة مع البول.

٢ ـ المحافظة على المحتوى القاعدى

تحافظ الكليتان على المخزون القاعدى، خاصة البيكربونات الفعالة فى تعادل الأحماض. ويسمى انخفاض المخزون القاعدى فى الدم بالحامضية Acidosis بينما تسمى زيادة مخزونها بالقاعدية Alkalosis. وتقوم الكليتان من أجل

موازنة البيكربونات بما يلى :

أ ـ اعادة امتصاص تام للبيكربونات من الراشح الكبى.

ب ـ التخلص من الفائض من البيكربونات فى الجسم.

جـ ـ تجديد ما فقد من مخزون البيكربونات بواسطة التخلص من أيونات الهيدروجين أو الأمونيا.

الفصل الحادي عشر
الجهاز العصـــــبي
Nervous System

الفصل الحادي عشر

الجهاز العصـــبى

وظائف الجهاز العصبى

الجهاز العصبى Nervous System هو أكثر أجهزة الجسم تعقيداً. فهو يتحكم فى أنشطة جميع وظائف هذه الأجهزة، وينسق أعمالها بدقة بالغة عن طريق استقباله للمعلومات من البيئة الخارجية أو البيئة الداخلية ثم الاستجابة لها. كما أنه مسؤول ليس فحسب عن استجابات الكائن الحى بصفة عامة وعن استجابات الانسان بصفة خاصة؛ الواعية واللاواعية أيضاً بما فيها الذكريات والعواطف والأفكار. وهو أيضاً مركز مهم لأعضاء الحس والبصر والسمع والذوق والألم والتفكير والكلام والارادة. وهو بالاشتراك مع الغدد الصماء يعمل على جعل الجسم ثابتاً متزناً.

النسيج العصبى

يتألف النسيج العصبى من عدد كبير من الخلايا العصبية Neurones التى تضطلع بكل الوظائف الرئيسية للجهاز العصبى. وبين الخلايا العصبية تقع خلايا أخرى تسمى خلايا الغراء العصبى Neuroglia Cells، وظيفتها الأساسية نقل الغذاء والأكسجين إلى الخلايا العصبية ونقل الفضلات من الخلايا العصبية إلى الدم.

الخلية العصبية

الخلية العصبية Neurone هي الوحدة التركيبية والوظيفية للنسيج العصبي. وهذه الخلايا متخصصة جداً وتختلف في أحجامها وأطوالها وأشكالها. فقد تتراوح ما بين بضعة ملليمترات إلى بضعة أمتار. فتصل في الزرافة إلى خمسة أمتار وفي الحوت عشرة أمتار. وتوجد بشكل رئيسي في المخ والنخاع الشوكي والعقد العصبية، بينما تمتد محاورها وتشعباتها لتنتشر في أجزاء الجسم المختلفة. وتتصف بخاصيتي التنبه والنقل. ويتم النقل فيها دائماً باتجاه واحد من الزوائد الشجرية Dendrites إلى جسم الخلية، ومن جسم الخلية إلى المحور العصبي. والخلية العصبية لا تعوض، إذ أن الكائن الحي يولد مزوداً بكافة خلاياه العصبية. وهي أيضاً لا تنقسم.

وتتركب الخلية العصبية من الأجزاء التالية (شكل ٣١) :

١ - جسم الخلية *Body of Neurone*

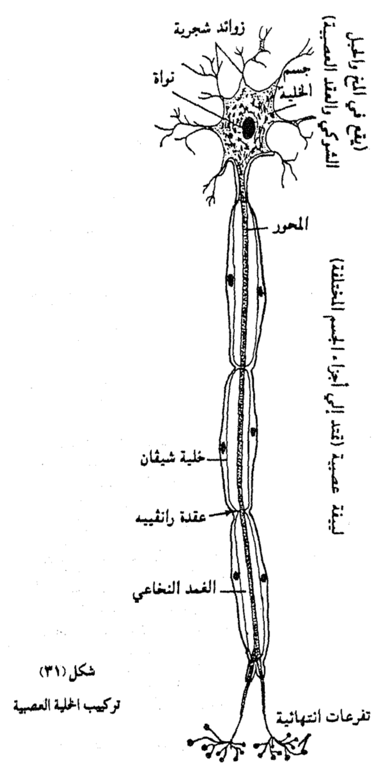
ويحتوي على النواة والسيتوبلازم الذي يحوي الميتوكوندريا وأجهزة جولجي والريبوسومات وأجسام نسل. ولا تحتوي الخلية العصبية على جسم مركزي (سنتريول). وهذا هو السبب في أنها لا تنقسم.

٢ - الزوائد الشجرية *Dendrites*

وهي عبارة عن استطالات سيتوبلازمية تخرج من جسم الخلية، وتتناقص أقطارها كلما ابتعدنا عن جسم الخلية. وتشعباتها غزيرة كي تزيد من السطح المعرض لاستقبال المنبهات من التشعبات الطرفية للخلايا التي تليها.

٣ - المحور العصبي *Axone*

وهو يتكون نتيجة لاستطالة إحدى الزوائد الشجرية، وينتهي بعدة تفرعات



شكل (٣١)

تركيب الخلية العصبية

انتهائية، ويتراوح طوله ما بين بضعة ملليمترات وبضعة أمتار. وغالباً ما يغلف بغمد نخاعى Myelin Sheath، عبارة عن غشاء خلوى مكون من دهون وبروتين تكونه خلايا خاصة تعرف بخلايا شيفان Schwann Cells. وهى تحيط بالغمد النخاعى الذى يتقطع على أبعاد متتابعة بعدد من الاختناقات

تعرف بعقد رانفييه Nodes of Ranvier. وعبر هذا الغمد يتم تبادل الأيونات عند انتقال النبضات العصبية Impulses. كما يحيط بالغمد النخاعى طبقة رقيقة تغلفه من الخارج تعرف بالغشاء العصبى Neurolemma، الذى يحمى الليفة العصبية من القطع إذا ما تعرضت للجذب الشديد وتفرزه خلايا شيفان أيضاً. ويعمل المحور العصبى على نقل النبضات العصبية (السيال العصبى) Impulses من جسم الخلية إلى منطقة التشابك العصبى Synapsis. وتتفرع نهاية المحور العصبى لتكون ما يعرف بالتفرعات الانتهائية Terminal Arborization.

أنواع الخلايا العصبية

تقسم الخلايا العصبية حسب وظيفتها إلى ثلاثة أنواع هى :

١ ـ خلية عصبية حسية *Sensory Neurone*

الخلايا العصبية الحسية هى المتصلة بأعضاء الاستقبال. وتنتشر عادة فى الجلد وأعضاء الحس الأخرى كالعين واللسان والأذن والأنف. وتعمل على نقل المنبهات من عضو الاستقبال إلى الجهاز العصبى المركزى.

٢ ـ خلية عصبية حركية *Motor Neurone*

الخلايا العصبية الحركية هى المتصلة بأعضاء الاستجابة كالعضلات والغدد. وتعمل على نقل الأوامر العصبية من المخ إلى تلك الأعضاء .

٣ ـ خلية عصبية وسطية أو بينية *Intercalated Neurone*

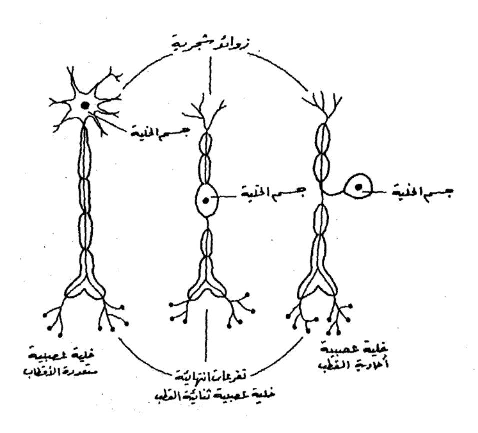
وهى تعمل كحلقة وصل بين الخلايا الحسية والحركية. إذ تقوم بتسلم النبضات العصبية (السيال العصبى) من عضو الاستقبال وتسلمه إلى الخلية الحركية أو العكس.

كما تقسم الخلايا العصبية حسب عدد المحاور الاسطوانية التى تنشأ من جسم الخلية إلى ثلاثة أنواع (شكل ٣٢) هى :

١ ـ خلية عصبية وحيدة القطب *Unipolar Neurone* : وهى ذات محور اسطوانى واحد.

٢ ـ خلية عصبية ثنائية القطب *Dipolar Neurone*: وهى ذات محورين اسطوانيين.

٣ ـ خلية عصبية عديدة الأقطاب *Multipolar Neurone*: وهى ذات تفرعات شجرية غزيرة. وهذه هى النوع الشائع بين خلايا النسيج العصبى.



شكل (٣٢)

أنواع الخلايا العصبية حسب عدد المحاور الاسطوانية التى تنشأ من جسم الخلية

تركيب الجهاز العصبى

يتركب الجهاز العصبى فى الانسان من قسمين أساسيين هما :
- الجهاز العصبى المركزى : ويقسم إلى الدماغ والحبل الشوكى.
- الجهاز العصبى الطرفى: ويقسم إلى ثلاث مجموعة من الأعصاب شوكية ومخية وذاتية.

أولا ـ الجهاز العصبى المركزى

١ ـ الدماغ *Brain*

يعتبر الدماغ أكبر عضو عصبى فى جسم الانسان. ويتركب من ١٢ بليون خلية عصبية أو أكثر. ويزن حوالى ١٤٠٠ جرام. وهو يحصل على معظم المواد الغذائية اللازمة له ويتخلص من الفضلات عن طريق الدم. وقليل جداً من هذه المواد يكون عن طريق السائل النخاعى الذى يملأ تجاويفه بما فيها القناة المركزية. ويستخدم الجلوكوز فى الدماغ كمصدر لانتاج الطاقة.

ويحيط به ثلاثة أغشية تسمى السحايا Meninges، تعمل على حمايته من المؤثرات الخارجية. والأغشية هى :
- الأم الجافية *Dura Mater*: وهو غشاء سميك ليفى يتصل بعظام الجمجمة.
- الأم الحنون *Pia Mater*: وهو غشاء رقيق جداً يحيط بالمخ مباشرة وتنتشر فيه أوعية دموية كثيرة لتغذية المخ.
- الغشاء العنكبوتى *Arachnoid Membrane*: وهو غشاء مصلى شفاف يقع بين الغشائين السابقين. ويتصل بهذا الغشاء فراغ يسمى الفراغ تحت العنكبوتى Sub-arachnoid space مملوء بسائل خاص يسمى السائل النخاعى Cerebrospinal Fluid يعمل على وقاية الحبل الشوكى من الاحتكاك والصدمات الخارجية.

ويتركب الدماغ من ثلاثة أجزاء رئيسية (شكل ٣٣) هي :

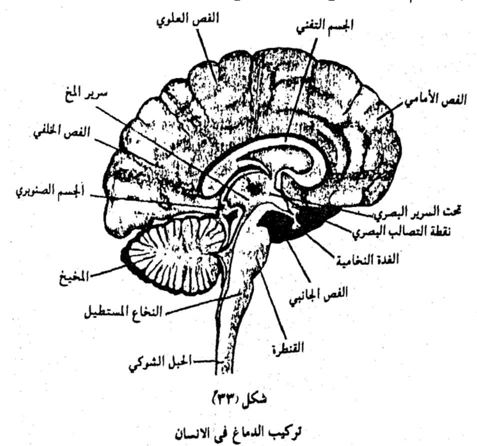
أ ـ الدماغ الأمامي *Prosencephalon or Forebrain*

وهو يتكون من :

- المخ Cerebrum: وهو أكبر أجزاء الدماغ حجماً، إذ يشكل حوالي ٩٠٪ منه. ويتركب من خلايا عصبية عديدة. ويتألف من طبقتين إحداهما خارجية هي القشرة المخية Cerebral Cortex التي تتميز بكثرة التلافيف المخية فيها، والأخرى داخلية وتتركب من ألياف ومحاور عصبية ذات أغلفة نخاعية تعرف بالمادة البيضاء White Matter . ومورفولوجياً يتكون المخ من نصفين متشابهين يسميان بنصفي الكرة المخيين Cerebral Hemispheres، يفصلهما شق طولي. ويصل نصفي الكرة المخيين أربطة من ألياف عصبية تسمى Corpus Callosum ويمتد كل نصف كرة مخي إلى الأمام ليكون فص شمي. ومن الفصين الشميين تخرج أعصاب الشم. وينقسم كل نصف كرة مخي إلى أربعة فصوص هي : الفص الأمامي أو الجبهي Frontal Lobeوالفص العلوي أو الجداري Parietal Lobe والفص الجانبي أو الصدغي Temporal Lobe والفص الخلفي أو المؤخري Occipital Lobe. وهذه الفصوص الأربعة هي مراكز الاحساس والشم والسمع والابصار والكلام.
- **السرير البصري** Thalamus : وهو يرتبط بالقشرة المخية، ويعتبر مركزاً لتنظيم وتجميع السيالات العصبية القادمة من جميع أعضاء الحس (ما عدا الشم) وتوصلها إلى قشرة المخ.
- **تحت السرير البصري** Hypothalamus : وموقعه كما يدل اسمه تحت السرير البصري وفوق الغدة النخامية. وهو يتصل عصبياً مع الفص الخلفي للغدة النخامية ووعائياً مع الفص الأمامي لها. وهو يقوم بالوظائف التالية :

ـ تنظيم حرارة الجسم.

- تنظيم أنشطة الجسم مثل الشعور بالعطش والجوع والنوم وتحريك الرغبات.
- له علاقة بالتنظيم الأسموزى لسوائل الجسم بما فيه تنظيم المحتوى المائى.
- يعتبر مركزاً هاماً لضبط الجهاز العصبى الذاتى ANS ، لأن معظم ارتباطاته العصبية تكون مع هذا الجهاز.
- مصدر لافراز هرمونين هامين هما : الهرمون المضاد للادرار ADH الذى يسمى أيضاً بالهرمون المقلص للأوعية الدموية Vasopressin والهرمون المعجل للولادة أوكسيتوسين Oxytocin .
- مصدر افراز الهرمونات المحفزة للغدد الأخرى مثل : الهرمون المحفز للغدة الدرقية RTSH والهرمون المحفز للحوصلة RFSH والهرمون المحفز لتكوين الجسم الأصفر RLH والهرمون المحفز لافراز هرمون النمو RGH والهرمون المحفز لهرمون البرولاكتين R Prolactin .
- تنظيم افراز مواد مثل الكاتيكول أمين Catecholamines .



شكل (٣٣)

تركيب الدماغ فى الانسان

ب ـ الدماغ الأوسط *Mesencephalon or Midbrain*

وهو يتكون من :

ـ الفصين البصريين *Optic Lobes* : وكل منهما منقسم إلى قسمين، مما يجعلهما يأخذان هيئة بروزات حلمية الشكل. ويسمى هذا الشكل بالجسم الرباعى *Corpora Quadrigemina* . ويعتبر الفصان البصريان مركزاً لمرور الاحساسات البصرية.

ـ السويقتين المخيتين *Cerebral Peduncles* : وهما يصلان المخ بالقنطرة التى تقع فى الدماغ الخلفى. وهما يقومان بنقل الرسائل العصبية من وإلى المخ. وتلف سويقة مخية واحدة يسبب شللا فى الجهة المعاكسة من الجسم.

جـ ـ الدماغ الخلفى *Rhombencephalon or Hindbrain*

وهو يتكون من :

ـ المخيخ *Cerebellum* : ويقع أسفل نصفى الكرة المخيين. ووظيفته تنظيم وتنسيق الحركات الجسمية وحفظ توازن الجسم. وهو يتكون من نصفى الكرة المخيخيين Cerebellar Hemispheres وجزء وسطى صغير يربط بينهما ويسمى الفص الدودى Vermis .

ـ القنطرة *Pons*: وهو انتفاخ يقع أسفل المخ وفوق النخاع المستطيل مباشرة، وتصل النخاع المستطيل والمخيخ بالدماغ الأوسط. والقنطرة هى طريق لنقل السيالات العصبية، ويوجد بها مراكز عصبية يعتقد أن لها علاقة بالانفعالات النفسية، كما يوجد فيها مركز عصبى له علاقة باغلاق جفون العينين تلقائياً فى حالة تعرض العين لضوء مبهر.

ـ النخاع المستطيل *Medulla Oblongata* : وهو الجزء الذى يصل بين الدماغ والحبل الشوكى. وهو يعتبر امتداداً للحبل الشوكى داخل الجمجمة.

ويختلف تركيبه عن تركيب المخ والمخيخ، إذ أن المادة السنجابية تقع فى الداخل والمادة البيضاء تقع فى الخارج. ومنه تصدر الأعصاب المخية ٩و١٠و ١١و١٢. وفيه توجد مراكز عصبية تتحكم فى التنفس وتعمل على تنظيم دقات القلب وحركة المعدة والأمعاء وتنظيم افراز العصارة المعدية واللعاب والبلع والاستفراغ والعطش والسعال. ويعتبر حلقة وصل هامة تنقل المعلومات العصبية الحسية من الحبل الشوكى إلى المخ وتنقل الأوامر الحركية من المخ إلى الحبل الشوكى.

٢ ـ الحبل الشوكى *Spinal Cord*

هو حبل عصبى أبيض اسطوانى يمر بداخل القناة الشوكية الفقرية Vertebral Canal. ويحيط به نفس الأغشية التى تحيط بالدماغ وهى : الأم الجافية والأم الحنون والغشاء العنكبوتى. وهو يشبه فى تركيبه النخاع المستطيل حيث تقع المادة السنجابية فى الداخل والمادة البيضاء فى الخارج. ويخرج من الحبل الشوكى على مسافات منتظمة ٣١ زوجاً من الأعصاب الشوكية، لكل عصب منها جذران:

- **جذر ظهرى *Dorsal Root*** : ويحتوى على أعصاب الحس ويعمل على نقل الرسائل العصبية من أعضاء الاستقبال فى الجسم إلى الحبل الشوكى ثم المخ.
- **جذر بطنى *Ventral Root*** : ويحتوى على أعصاب حركية وينقل الأوامر الحركية من المخ إلى أعضاء الاستجابة كالعضلات أو الغدد.

ثانياً ـ الجهاز العصبى الطرفى *Prepheral Nervous System PNS*

ويعمل على ربط الجهاز العصبى المركزى بجميع أجزاء الجسم. وهو يتركب من ثلاث مجموعات من الأعصاب: شوكية ومخية وذاتية.

١ ـ **الأعصاب الشوكية *Spinal Nerves*** : وهى ٣١ زوجاً تخرج من الحبل الشوكى على مسافات منتظمة وهى:

٨ أزواج من الأعصاب العنقية Cervical Nerves تغذى منطقة العنق.
١٢زوجاً من الأعصاب الصدرية Thoracic Nerves تغذى منطقة الصدر.
٥ أزواج من الأعصاب القطنية Lumbar Nerves تغذى منطقة القطن.
٥ أزواج من الأعصاب العجزية Sacral Nerves تغذى منطقة العجز.
زوج واحد هو العصب العصعصى Coccygeal Nerve يغذى منطقة العصعص.

٢ـ الأعصاب المخية *Cranial Nerves*: وهى ١٢ زوجاً تخرج من المخ. وتقسم عادة إلى ثلاثة أقسام هى:

الأعصاب ١، ٢، ٨ حسية
والأعصاب ٣، ٤، ٦، ١٢ حركية
والأعصاب ٥، ٧، ٩، ١٠، ١١ مختلطة (أى حسية وحركية)
وهذه الأعصاب هى:

الأول : العصب الشمى *Olfactory Nerve*: ويخرج من الجزء الأمامى لنصفى الكرة المخيين. ويؤدى تلفه إلى فقدان حاسة الشم.

الثانى : العصب البصرى *Optic Nerve*: وتنتشر فروعه فى شبكية العين. ويتقاطع العصبان البصريان فى نقطة تسمى التصالب البصرى Optic Chiasma

الثالث: العصب المحرك للعين *Oculomotor Nerve* وهو يحرك عضلات العين وينظم حجم كرة العين. ويؤدى تلفه إلى هبوط الجفن Ptosis وازدواجية الرؤية Diplopia.

الرابع : العصب البكرى *Trochlear Nerve* : وهو يحرك عضلات العين وتلفه يؤدى إلى ازدواجية الرؤية.

الخامس : العصب التوأمى الثلاثى *Trigeminal Nerve*: وهو عصب مختلط يحتوى على ألياف حسية إلى الفم واللسان وحركية إلى عضلات المضغ.

السادس : العصب المبعد للعين *Abducent Nerve* : وهو يحرك العين حركة جانبية. وتلفه يؤدى إلى حدوث الرؤية المزدوجة والحول.

السابع : العصب الوجهى *Facial Nerve* : وهو يحرك عضلات الوجه والفم وينبه افراز اللعاب. وتلفه يؤدى إلى شلل نصف الوجه.

الثامن : العصب السمعى *Auditory Nerve*: وهو يتصل بالأذن ومسؤول عن السمع والتوازن. وتلفه يؤدى إلى الطرش والإخلال بالتوازن.

التاسع: العصب اللسانى البلعومى *Glossopharyngeal Nerve*: وهو مسؤول عن الذوق وعن حركة البلعوم.

العاشر : العصب الحائر *Vagus Nerve* : وهو مسؤول عن الرئتين والمعدة والحنجرة والأمعاء والكبد.

الحادى عشر: العصب الإضافى *Accessory Nerve*: وهو مسؤول عن حركة الرأس والأكتاف.

الثانى عشر : العصب تحت اللسانى *Hypoglossal Nerve*: وهو يعمل على تحريك اللسان.

٣ ـ **الأعصاب الذاتية** *Autonomic Nerves*: وهى أعصاب حركية تنظم أنشطة جميع أعضاء الجسم التى لا تخضع لإرادة الانسان كحركة القلب والمعدة والأمعاء وجدر الأوعية الدموية.

وظيفياً ينقسم الجهاز العصبى الطرفى إلى :

١ ـ **الجهاز العصبى الجسمى** *Somatic Nervous System*: وهو يشمل أعصاب حسية وأخرى حركية تنتشر كلها فى العضلات الهيكلية والجلد، وهو مسؤول عن الحركات العضلية الإرادية.

٢ ـ **الجهاز العصبى الذاتى** *Autonomic Nervous System* : وهو يشمل أعصاب حركية فقط لا تخضع لإرادة المخ. وتنتشر كلها فى الأعضاء

الداخلية كالمعدة والأمعاء والكبد والقلب والرئتين والغدد والجهاز البولى التناسلى وجدر الأوعية الدموية فتحركها حركة آلية. وباختصار فإن هذا الجهاز مسؤول عن تنظيم وتوازن وثبات الوسط الداخلى للجسم.

ويقسم الجهاز العصبى الذاتى من الناحية التركيبية والوظيفية إلى :

- **الجهاز العصبى الودى (السمبتاوى)** *Sympathetic Nervous System* : وتتصل أليافه العصبية بالمنطقة الصدرية والمنطقة القطنية من الحبل الشوكى.
- **الجهاز العصبى نظير الودى (الباراسمبتاوى)** *Parasympathetic Nervous System* : وتتصل أليافه العصبية بالجهاز العصبى المركزى بالمخ والمنطقة العجزية من الحبل الشوكى.

وتغذى معظم الأعضاء الداخلية فى الجسم بفروع عصبية من كل من الجهازين السمبتاوى والباراسمبتاوى. وهما يتعاكسان فى تأثيرهما، فحيث ينبه أحدهما نشاط عضو ما فإن الآخر يعمل على تثبيطه والعكس صحيح.

السيال العصبى

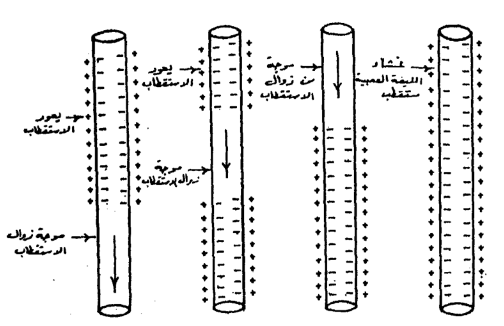
يقصد بالسيال العصبى انتقال النبضات العصبية Nerve Impulses من موقع إلى آخر فى الجهاز العصبى. وتتضمن عملية انتقال السيال العصبى مجموعة من التغيرات الكهروكيميائية التى تمر بالتتابع خلال الليفة العصبية أو عبر منطقة التشابك العصبى بين الخلايا العصبية المتجاورة Synapsis.

أولا ـ خلال الليفة العصبية

يفسر انتقال السيال العصبى خلال الليفة العصبية على شكل موجات من زوال الاستقطاب Depolarization يعقبها استقطاب Polarization ثم زوال استقطاب وهكذا. ويتم ذلك على غشائى الليفة العصبية الداخلى والخارجى.

ففى حالة السكون يكون غشاء الليفة العصبية موجب الشحنة الكهربية على سطحه الخارجى، وسالب الشحنة الكهربية على سطحه الداخلى. وتنتج هذه الشحنات الكهربية من وجود أيونات الصوديوم والبوتاسيوم الموجبة خارج الغشاء وأيونات الكلوريد السالبة داخل الغشاء. ويقال عن غشاء الليفة العصبية فى حالة السكون هذه أنه مستقطب كهربياً، أى له قطبان موجب وسالب. ويرجع وجود هذا الاستقطاب إلى خاصية النفاذية الاختيارية التى تتميز بها أغشية الألياف العصبية. وأثناء حالة السكون يعمل الغشاء على منع مرور تلك الأيونات الموجبة والسالبة من خلاله فلا تحدث حالة التعادل بينهما. لكن عندما يحدث تنبيه أو إثارة لليفة العصبية فى أى جزء منها فإن الغشاء يفقد خاصية النفاذية الاختيارية فى هذا الجزء، أى يصبح منفذاً للأيونات الموجبة والسالبة، فتمر من خلاله وتعادل بعضها البعض. وبذا يزول استقطاب الغشاء عند هذا الجزء. وتقفز الأيونات الموجودة على جزء مجاور من الغشاء لم يتم تنشيطه بعد، من خلال الجزء غير المستقطب السابق لتعادل بعضها البعض. وبذلك يصبح هذا الجزء هو الآخر غير مستقطب. وهكذا تقفز الأيونات من جزء ثالث وآخر رابع... فتستمر العملية على طول الليفة العصبية بأكملها. وبعد أن يجتاز السيال العصبى جزءاً معيناً فإن الغشاء يستعيد قدرته على النفاذية الاختيارية مرة أخرى. وكذلك يعود الاستقطاب عند هذا الجزء مرة أخرى.

وتتشابه جميع السيالات العصبية فى طبيعتها ولا تختلف عن بعضها إلا فيما تسببه من تأثيرات فى الأعضاء التى تنتهى إليها. فإذا كانت الليفة العصبية تنتهى فى إحدى العضلات حدث انقباض فيها. وإذا كانت تنتهى فى غدة حدث افراز فيها. أما إذا كانت الليفة العصبية تنتهى ملامسة للزوائد الشجرية فى خلية عصبية أخرى فى منطقة تشابك عصبى Synapsis تولد سيال عصبى فى هذه الخلية العصبية الأخيرة. ويوضح شكل (٣٤) كيفية انتقال السيال العصبى خلال الليفة العصبية.



شكل (٣٤)

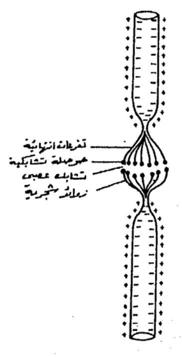
انتقال السيال العصبى خلال الليفة العصبية

ثانياً ـ عبر منطقة التشابك العصبى

يعرف التشابك العصبى بأنه اتصال وظيفى وليس بروتوبلازمى بين أغشية التفرعات الانتهائية فى الخلية العصبية وأغشية التفرعات الشجرية لخلية عصبية مجاورة، أى أن الخلايا العصبية لا تتشابك فيما بينها نسيجياً وإنما وظيفياً، حيث يوجد بين نهايات الأعصاب للخلية العصبية الواقعة قبل التشابك وجسم الخلية العصبية الواقعة بعد التشابك فجوة تدعى فجوة التشابك العصبى

Synaptic Cleft. وفى نهاية الخلية العصبية قبل التشابك توجد حويصلات على شكل عناقيد قريبة من الغشاء وتسمى حويصلات تشابكية Synaptic Vesicles. وهذه الحويصلات هى مخازن للناقلات الكيميائية (الاستيل كولين والأدرينالين) التى تتكون فى العصب.

وعند وصول السيال العصبى إلى خلايا قبل التشابك العصبى تنطلق الناقلات الكيميائية من الحويصلات التشابكية إلى فجوة التشابك العصبى مما يزيد من أسموزية غشاء خلايا بعد التشابك. وبناءً على ذلك يصبح الغشاء بعد التشابك فى حالة زوال الاستقطاب وينشأ فرق فى الجهد. فتمر السيالات العصبية من التفرعات الانتهائية لخلية عصبية إلى الزوائد الشجرية للخلية العصبية المجاورة. وعليه فإن مرور السيالات العصبية يتم فى اتجاه واحد فقط عبر منطقة التشابك العصبى. ويوضح شكل (٣٥) كيفية انتقال السيال العصبى عبر منطقة التشابك العصبى.



شكل (٣٥)

انتقال السيال العصبى عبر منطقة التشابك العصبى

الفعل الانعكاسى *Reflex Action*

يعرف الفعل الانعكاسى بأنه فعل يحدث استجابة لمؤثر معين يؤدى إلى مرور سيال عصبى من العضو الحسى إلى الجهاز العصبى المركزى ممثلا فى الحبل الشوكى دون تدخل مباشر من المخ. وفى الجهاز العصبى المركزى ينعكس السيال العصبى مرة أخرى ليصل إلى عضو استجابة فيستجيب للمؤثر.

ويتكون الفعل الانعكاسى من مرحلتين هما :

١ ـ تستقبل المستقبلات الحسية Sensory Receptors المعلومات من البيئة الخارجية أو الداخلية للكائن الحى. وتدخل تلك المعلومات على شكل طاقة حرارية أو ضوئية أو كيميائية. ويعرف ذلك بالمنبهات Stimuli.

٢ ـ يقوم الجهاز العصبى المركزى بتقييم هذه المعلومات. فإذا كان لابد من استجابة فإن الأوامر تصدر عندئذٍ لأعضاء الاستجابة Effectors كالعضلات أو الغدد لتقوم بالعمل اللازم.

القوس الانعكاسى *Reflex Arc*

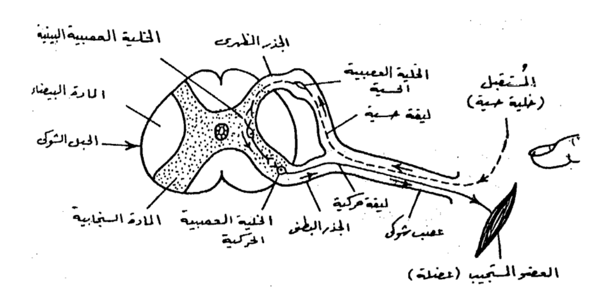
القوس الانعكاسى هو الموقع فى الجهاز العصبى المركزى الذى يصل إليه سيال عصبى من عضو حسى ثم ينعكس فيه هذا السيال إلى عضو الاستجابة محدثًا فعلا انعكاسيًا لا يخضع للإرادة. وأبسط الأفعال الانعكاسية التى لا تخضع للإرادة بل تنجم عن القوس الانعكاسى هو لمس شىء ساخن يدفع بالجسم على الفور إلى الابتعاد السريع عنه.

ويشتمل القوس الانعكاسى على العناصر الآتية (شكل ٣٦) :

١ ـ **خلية عصبية حسية** : وهى التى تستقبل المؤثر بواسطة زوائدها الشجرية ثم تنقله بعد ذلك عن طريق محورها إلى الخلية العصبية البينية.

٢ ـ **خلية عصبية بينية**: وهى توجد فى المادة السنجابية بين القرنين الظهرى والبطنى للحبل الشوكى ولها زوائد شجرية قصيرة تمتد فى الجزء الظهرى للحبل الشوكى، ومحور قصير يمتد فى الجزء البطنى للحبل الشوكى. وتقوم هذه الخلية بترجمة السيال الحسى الوارد إليها إلى مؤثر حركى.

٣ ـ **خلية عصبية حركية** : وهى توجد فى القرن البطنى للحبل الشوكى ولها زوائد شجرية قصيرة فى جانبها العلوى، ومحور طويل يمثل الليفة الحركية ويمتد فى الجذر البطنى للعصب الشوكى ثم خلال الجذع الرئيسى للعصب الشوكى ذاته ثم فى الفرع الحركى لذلك العصب إلى أن ينتهى فى العضو المستجيب الذى يكون عادة عبارة عن عضلة أو غدة تستجيب للمؤثر بطريقة ملائمة



شكل (٣٦)

القوس الانعكاسى

الفصل الثانى عشر
التوازن الهرمـــــــــــونى
Hormonal Co-Ordination

الفصل الثانى عشر

التوازن الهرمونى

أنواع الغدد فى الجسم

فى الجسم ثلاثة أنواع من الغدد هى:

١ ـ غدد قنوية أو لا صماء *Duct Glands*

وهى تسمى أيضاً بالغدد ذات الافراز الخارجى Exocrine Glands. وتحتوى على قنوات خاصة تصب بواسطتها الافرازات إما خارج الجسم مثلما فى الغدد العرقية أو الغدد الدمعية أو داخل الجسم مثلما فى الغدد اللعابية.

٢ ـ غدد لا قنوية أو صماء *Ductless Glands*

وهى تسمى أيضاً بالغدد ذات الافراز الداخلى Endocrine Glands. وليست لها قنوات خاصة بها. بل تصب افرازاتها مباشرة فى الدورة الدموية فتؤثر تأثيراً تنظيماً على تركيب آخر فى موقع آخر من الجسم حسب طبيعة الافراز. وتسمى افرازات هذا النوع من الغدد بالهرمونات. والعالم بند Pende هو أول من استخدم لفظة الغدد ذات الافراز الداخلى Endocrine Glands فى أوائل القرن العشرين مستمداً معناها من اللغة الإغريقية (اليونانية القديمة): داخلى Endo = within، افراز Krinein = to separate . ومن أمثلتها السرير

البصرى والغدد النخامية والدرقية وجارات الدرقية والكظرية والصنوبرية والزعترية والقلب.

٣ ـ غدد مختلطة *Mixed Glands*

وهذه تجمع بين النوعين السابقين. إذ لها قنوات خاصة، وفى نفس الوقت تصب افرازاتها فى الدم مباشرة كما فى البنكرياس والغدد الجنسية.

الغدد الصماء *Endocrine Glands*

أولا ـ علاقة الغدد الصماء بالجهاز العصبى

تقوم الغدد الصماء بالعمل على التوازن الهرمونى للجسم، وذلك من خلال افرازها للهرمونات العديدة والمختلفة، والتى تنظم كافة أنشطة الجسم وعملياته الحيوية. وتخضع كل هذه الأنشطة والعمليات الجسمية للتآزر والتناسق بين الجهازين الهرمونى (الغدد الصماء) والعصبى. لذا يرتبط عمل كلا الجهازين ببعضهما ارتباطاً وثيقاً. إذ أن وظائف الغدد الصماء نفسها تقع تحت التأثير المنظم للجهاز العصبى. ويقوم تحت السرير البصرى Hypothalamus بربط كل من الجهازين، فيعمل على تحويل الإشارات العصبية إلى إشارات هرمونية وذلك بفضل الخصائص الافرازية لبعض الخلايا العصبية التى تدخل فى تركيبه.

ثانياً ـ الهرمونات *Hormones*

كان العالم ستارلنج Starling هو أول من استخدم كلمة هرمون Hormone فى عام ١٩٠٥ مستمداً مدلولها من أصلها اليونانى القديم (الإغريقى) الذى يعنى الإثارة أو الاستفزاز: Hormone = exciting or setting in motion.

والهرمونات ببساطة هى مواد عضوية يتألف بعضها من البروتين المعقد وبعضها من المركبات البسيطة كالأحماض الأمينية أو الستيرويدات. وعلى الرغم من أن الهرمونات توجد بتراكيز منخفضة جداً فى الدم أو فى الأنسجة، إلا أنها ترتبط بكافة التنظيمات الحيوية والأيضية فى الجسم، بل وتسيطر بفعالية على جميع الوظائف الفسيولوچية فى الجسم. وبناءً على ذلك فإنه إذا حدث أى خلل فى افراز أحد هذه الهرمونات فإن ذلك يؤدى إلى حدوث نتائج غير مرغوبة.

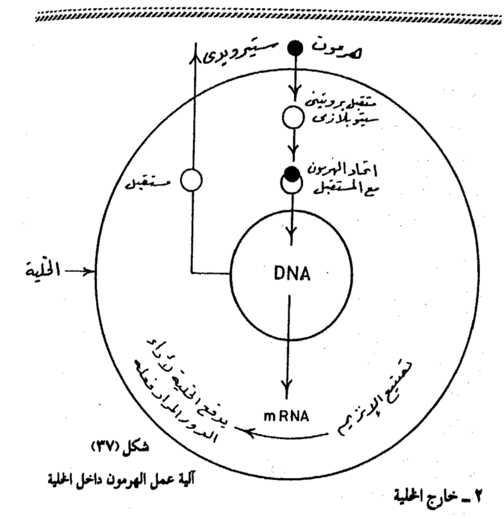
ويمكن أن يعرف الهرمون كالتالى: هو الوسيط الكيميائى الذى يُخلَق بواسطة تركيب محدد فى الجسم، ويفرز مباشرة فى تيار الدم ليحمل إلى جزء آخر فى الجسم كى يمارس عليه تأثيراً تنظيمياً حيوياً.

آلية عمل الهرمونات

تعمل الهرمونات داخل الجسم من خلال آليتين، إحداهما داخل خلوية والأخرى خارج خلوية.

١ ـ داخل الخلية

تنطبق هذه الآلية على الهرمونات الستيرويدية وهرمونات الغدة الدرقية. إذ عند دخول الهرمون إلى داخل الخلية فإنه يتحد مع مستقبل بروتينى سيتوبلازمى Receptor. وينتقل الإثنان معاً إلى داخل نواة الخلية حيث يعملان على تصنيع إنزيم يدفع الخلية إلى التصرف بأداء الدور المراد فعله، ثم يعود المستقبل بعد ذلك إلى خارج الخلية لإحضار المزيد من الهرمون. ويوضح شكل (٣٧) آلية عمل الهرمون داخل الخلية

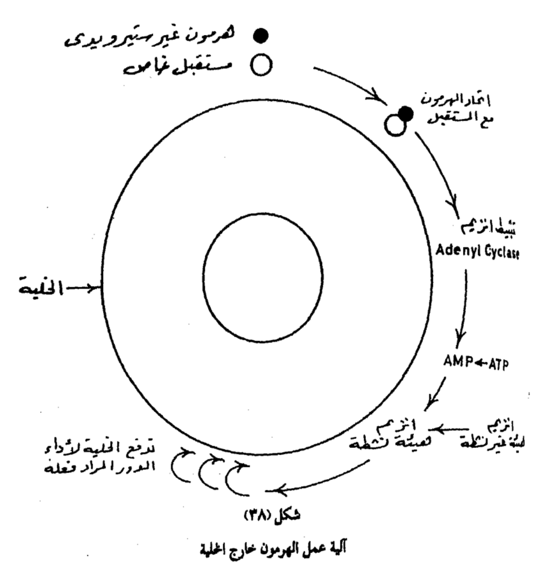


شكل (٣٧)

آلية عمل الهرمون داخل الخلية

٢ ـ خارج الخلية

تنطبق هذه الآلية على عمل بقية الهرمونات. فلا يدخل الهرمون الخلية، لكنه يؤثر على جدارها من الخارج حيث لكل هرمون مستقبل خاص به يتلقى تأثيره. فيتحدان معاً عند جدار الخلية من الخارج. ويعمل هذا على تنشيط إنزيم أدينيل سيكليز Adenyl Cyclase الموجود فى جدار الخلية. فيقوم هذا الإنزيم بتحويل أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP إلى أدينوسين أحادى الفوسفات AMP. ويقوم هذا الأخير بنفس العمل الذى يقوم به mRNA، لذلك يسمى أحياناً الرسول الثانى Secondary Messenger. فيعمل على تحويل إنزيمات معينة مثل Protein Kinase من هيئة غير نشطة إلى هيئة نشطة، مما يدفع الخلية إلى أداء الدور المراد فعله. ويوضح شكل (٣٨) آلية عمل الهرمون خارج الخلية.



شكل (٣٨)

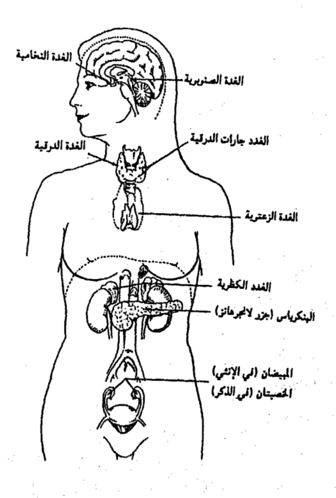
آلية عمل الهرمون خارج الخلية

ثالثاً ـ أنواع الغدد الصماء

تتميز الغدد الصماء فى الجسم إلى اثنى عشر نوعاً (شكل ٣٩) هى:

ـ تحت السرير البصرى	Hypothalamus
ـ الغدة النخامية	Pituitary Gland
ـ الغدة الدرقية	Thyroid Gland
ـ الغدد جارات الدرقية	Parathyroid Glands
ـ الغدتان الكظريتان أو فوق الكلويتين	Adrenal or Suprarenal Glands
ـ البنكرياس	Pancreas
ـ الغدد التناسلية (الخصيتان أو المبيضان)	Sex Glands (Testes or Ovaries)

ـ المشيمة	Placenta
ـ غدد القناة الهضمية (المعدة والأمعاء) .	Gastrointestinal Glands
ـ الغدد الصنوبرية	Pineal Glands
ـ الغدة الزعترية (التيموسية)	Thymus Gland
ـ القلب	Heart



شكل (٣٩)

أنواع الغدد الصماء ومواقعها فى جسم الانسان

١ ـ تحت السرير البصرى *Hypothalamus*

كان يعتقد من قبل أن الغدة النخامية هي الغدة الوحيدة التى تتحكم فى افرازات بقية الغدد الصماء، لكن تبين أن الغدة النخامية هى نفسها واقعة تحت سيطرة تركيب نسيجى هام يقع تحت المخ الأوسط وفوق الغدة النخامية ويسمى تحت السرير البصرى *Hypothalamus*. ويفرز هذا التركيب عدة هرمونات عصبية منشطة ومثبطة تتحكم فى افراز كثير من الغدد الصماء الأخرى، وذلك من خلال تأثيره على نشاط الغدة النخامية. إذ يفرز هذا التركيب تلك الهرمونات العصبية فى الدم ثم يرسلها إلى الغدة النخامية لتقنن افرازاتها.

ولا يكتفى تحت السرير البصرى بتنظيم أنشطة الغدد الصماء عن طريق الهرمونات العصبية التى تفرز مع تيار الدم، بل يؤثر فى أنشطة تلك الغدد بشكل مباشر عن طريق النبضات العصبية التى يرسلها من خلاياه. ويلعب هذا التركيب دوراً هاماً فى تنظيم درجة حرارة الجسم والتنظيم الأسموزى لسوائله وتنظيم الأيض. وهو أيضاً مسؤول عن تنظيم آليات الشرب والعطش والجوع والهضم، ويؤدى دوراً غير بسيط فى الأنشطة التناسلية والنوم والاستيقاظ وفى رد الفعل للمؤثرات الخارجية كالحر والبرد والألم والانفعال وللمؤثرات الداخلية كالهستامين والسموم. ويبلغ عدد الهرمونات العصبية التى يفرزها تحت السرير البصرى اثنى عشر هرموناً، يختزن بعضها فى الفص الخلفى للغدة النخامية ويطلق فى الدم عند الاحتياج إليه، ويرسل الباقى إلى الفص الأمامى من الغدة النخامية لكى يحفزه على افراز هرموناته.

وأهم الهرمونات التى يفرزها تحت السرير البصرى هى:

- الهرمون محرر الثيروتروبين *Thyrotrophin Releasing Hormone (TRH)*: يحفز هذا الهرمون افراز الهرمون المحفز للغدة الدرقية TSH من الغدة النخامية.

- **الهرمون محرر الهرمونات المحفزة للمناسل** *Gonadotrophin-Releasing Hormone (GnRH)*:
يحفز هذا الهرمون افراز الهرمونات المحفزة للمناسل (كالهرمون المحفز للحوصلة FSH والهرمون المحفز لتكوين الجسم الأصفر LH) من الفص الأمامى للغدة النخامية.
- **الهرمون محرر هرمون النمو** *Growth Hormone - Releasing Hormone (GHRH)*: يحفز هذا الهرمون افراز هرمون النمو من الفص الأمامى للغدة النخامية.
- **هرمون سوماتوستاتين** *Somatostatin*: يعمل هذا الهرمون على تثبيط افراز هرمون النمو من الفص الأمامى للغدة النخامية.
- **الهرمون محرر هرمون البرولاكتين** *Prolactin - Releasing Hormone (PRH)*: يحفز هذا الهرمون افراز هرمون البرولاكتين من الفص الأمامى للغدة النخامية.
- **الهرمون مثبط هرمون البرولاكتين** *Prolactin-Inhibiting Hormone (PIH)*: يثبط هذا الهرمون افراز هرمون البرولاكتين من الفص الأمامى للغدة النخامية.
- **الهرمون محرر الهرمون المحفز للغدتين الكظريتين** *Corticotrophin-Releasing Hormone (CRH)*
يحفز هذا الهرمون افراز هرمون الكورتيكوتروبين، المنشط لغدتى الكظر، (والذى يسمى أحياناً أدرينوكورتيكوتروبين Adrenocorticotrophic Hormone أو اختصاراً ACTH من الفص الأمامى للغدة النخامية.

أ- الغدة النخامية Pituitary Gland

الغدة النخامية هى أهم الغدد فى الجسم، وتؤثر على جميع الغدد الأخرى (من خلال تأثير تحت السرير البصرى عليها). لذا تدعى سيدة الغدد. كما يطلق عليها أحياناً رئيسة الكورس Chief of Orchestre. وعلى الرغم من كذلك فهى صغيرة كحجم وشكل حبة الحمص وتقع أسفل المخ فى قاع الجمجمة بداخل نقرة صغيرة فى العظم الوتدى تسمى السرج التركى Sella Turcica مما يجعلها أفضل الأعضاء حماية فى الجسم.

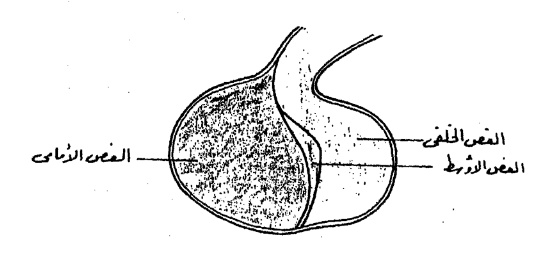
وتتألف الغدة النخامية من ثلاثة فصوص؛ أمامى وأوسط وخلفى (شكل ٤٠). ويغيب الفص الأوسط فى كل من الانسان والحوت.

أ ـ الفص الأمامى *Anterior Lobe*

وهو الجزء الأكبر والهام من الغدة النخامية. ويفرز ستة هرمونات، لها أهمية كبيرة فى نمو الجسم وتنظيم أنشطته خاصة الجنسية منها، وهذه الهرمونات هى:

ـ هرمون النمو *Growth Hormone (GH)* أو *Somatotrophic Hormone (STH)*:

هرمون النمو هو المسؤول عن النمو، إذ يؤثر مباشرة على كل الأنسجة بما فيها العظام والغضاريف والعضلات. كما أنه يؤثر أيضاً على أيض البروتين والكربوهيدرات والدهون بحيث يخدم غرض النمو فهو يحفز الأيض البنائى



شكل (٤٠)
قطاع طولى فى الغدة النخامية يبين أجزاءها الثلاثة

للبروتين Anabolism، ويثبط عملية هدم جزئ الحامض الأمينى، ويثبط عملية تكوين الدهن فى الجسم Lipogenesis، كما يعمل على تحرير الأحماض الدهنية من النسيج الدهنى المخزون فى الجسم، ويقلل من استعمال الخلايا للجلوكوز كمصدر للطاقة. بل إنه يشجع على استعمال الأحماض الدهنية الحرة لهذا الغرض بدلا من الجلوكوز. فيزيد معدل الجلوكوز فى الدم وبالتالى يحفز افراز هرمون الإنسولين من البنكرياس. لكن إذا استنفذت قدرة خلايا بيتا البنكرياسية على إنتاج الإنسولين يظهر مرض السكر. وقد ثبت أن هذا الهرمون يزيد من تراكم الجليكوجين فى خلايا العضلات.

وإذا نقص افراز هرمون النمو فى سن مبكرة يحدث ما يعرف بالقزامة Dwarfism. وإذا نقص افرازه بعد البلوغ يحدث ما يعرف بالطفالة Infantalism. وإذا زاد افرازه خلال مرحلة الصبا فإن ذلك يؤدى إلى العملقة Giantism. أما إذا زاد افرازه أثناء مرحلة البلوغ فإن ذلك يؤدى إلى ظهور ضخامة الأطراف Acromegality.

- **الهرمون المدر للبن** *Prolactin, Lutotrophin or Lactogenic Hormone*: يعمل هذا الهرمون على تحفيز الغدد اللبنية لكى تصنع اللبن، وليس لكى تفرزه. كما أن له علاقة مباشرة فى إظهار غريزة الأمومة عند الأم. وهو يعمل بالتآزر مع هرمونى الاستروجين والبروجستيرون على نمو الثديين عند الحمل.

ومن الطريف أنه قد وجد لهذا الهرمون علاقة مع بطانة حوصلة الطيور. إذ عند معاملة الطائر بهرمون البرولاكتين وجد أن الطبقة المخاطية المبطنة لحوصلته قد ازدادت سمكاً وتضخمت خلاياها وتراكمت بها كميات من الدهن، ثم انفصلت واختلطت مع محتويات الحوصلة مكونة ما يعرف باللبأ أو لبن الحوصلة Crop Milk الذى يستخدم لتغذية الصغار.

- الهرمون المحفز للغدة الدرقية Thyrotrophin or Thyroid Stimulating Hormone (TSH): يحفز هذا الهرمون الغدة الدرقية لافراز هرمون الثيروكسين.

- الهرمونان المحفزان للمناسل Gonadotrophins or Gonadotrophic Hormones: لهذين الهرمونين تأثير ضخم على فعالية الهرمونات التناسلية المفرزة من المبيض. والهرمونان المحفزان للمناسل هما :

أ- الهرمون المحفز للحوصلة Follicle Stimulating Hormone (FSH): فى الأنثى يحفز هذا الهرمون المبيض لإنتاج ونمو حوصلات جراف التى تنتج البويضات فى النهاية. وفى الذكر يحفز عملية تكوين الحيوانات المنوية.

ب- الهرمون المحفز لتكوين الجسم الأصفر Luteinizing Hormone (LH): يعمل هذا الهرمون على إتمام نضوج البويضة ومن ثم انفجار حوصلة جراف وخروج البويضة وتكوين الجسم الأصفر Corpus Luteum محل حوصلة جراف بعد انطلاق البويضة منها، وذلك لكى يمنع افراز بويضات أخرى. ويعمل الجسم الأصفر بالإضافة إلى عمله ذلك، على افراز هرمون البروجيستيرون Progesterone الذى يلعب دوراً كبيراً فى الدورة الشهرية للأنثى بما فى ذلك تهيئة بطانة الرحم لاستقبال البويضة.

ويوجد الهرمون المحفز لتكوين الجسم الأصفر LH فى الذكر أيضاً، غير أن لا علاقة له هنا بالجسم الأصفر. إذ لا يوجد فى الذكر جسم أصفر حيث لا يوجد مبيض. بل يتعلق دوره بالتأثير على خلايا لايدج Leydig Cells والتى تسمى أيضاً بالخلايا البينية Interstitial Cells فيحفزها على افراز هرمون التستوستيرون Testosterone المسئول عن إبراز الصفات الذكرية الثانوية. لذلك فإن الهرمون المحفز لتكوين الجسم الأصفر LH يطلق عليه أحياناً الهرمون المحفز للخلايا البينية Interstitial Cell - Stimulating Hormone (ICSH) .

- **الهرمون المحفز للغدتين الكظريتين** *Adrenocorticotrophic Hormone (ACTH):* يسمى هذا الهرمون أيضاً كورتيكوتروبين Corticotrophin. وهو ينشط قشرة الغدتين الكظريتين لافراز هرموناتهما. وله قدرة على إحداث تأثير متعدد الجوانب، فهو يرفع فاعلية إنزيم الفوسفوريليز وإنزيم الليبيز وإنزيم الديهيدروجينيز المختص بنزع الهيدروجين من جلوكوز-٦- فوسفات. وكذلك ينشط تصنيع البروتين والأحماض النووية، إلا أن الوظيفة الرئيسية لهذا الهرمون فى الجسم تتمثل فى تنظيم شدة التصنيع الحيوى للكورتيكوستيرويدات بواسطة الغدتين الكظريتين.

- **الهرمون المحفز للخلايا الملونة** *Melanocyte (Melanophore) Stimulating Hormone (MSH)*: يعمل هذا الهرمون على تحفيز الخلايا الملونة فى الجلد وذلك من خلال افراز صبغة الميلانين التى تصبغ الجلد باللون المناسب حسب الظروف البيئية التى يعيش فيها الكائن الحى. ويعتقد أن هذا الهرمون يقتصر على البرمائيات فقط. كما يرى بعض العلماء أن الفص الأوسط من الغدة النخامية هو الذى يفرز هذا الهرمون.

ب ـ الفص الخلفى *Posterior Lobe*

وهو فص صغير لا يفرز أى هرمون، وإنما يستقبل الهرمونات المفرزة من تحت السرير البصرى Hypothalamus ويخزنها ثم يقوم بافرازها. وهذه الهرمونات هى:

- **الهرمون معجل الولادة أو الأوكسيتوسين** *Oxytocin* : يعمل هذا الهرمون على تنظيم تقلصات الرحم. فيوقفها أثناء الحمل ويزيدها عند الولادة من أجل اخراج الجنين. لهذا يستعمله الأطباء أثناء الولادة لتسهيلها. وله أهمية فى إيقاف النزف الدموى الذى يحدث بعد الولادة والمرتبط باسترخاء الرحم. كما أن لهذا الهرمون أثراً كبيراً فى اندفاع اللبن عبر قنوات الغدد اللبنية فى الثدى إلى الحلمة استجابة لعملية الرضاعة. وليس لهذا الهرمون أى دور فى الذكور.

ـ الهرمون المقلص للأوعية الدموية *Vasopressin* أو المضـاد لإدرار البـول *Antidiuretic Hormone (ADH)*: يؤثر هذا الهرمون على القلب والأوعية الدموية، ويسبب ارتفاع ضغط الدم. لذا يستخدم لرفع ضغط الدم أثناء إجراء بعض العمليات الجراحية التى يهبط فيها ضغط دم المريض. ويعمل هذا الهرمون على تنظيم إدرار البـول من خـلال إعادة امـتصـاص الماء الذى يوجد براشح الدم فى الأينبوبات الكلوية. لهذا فإن نقص افرازه يسبب ازدياداً كبيراً فى إدرار البول. ويصحب ذلك عطش شديد لتعويض فقد الماء مع التبول، ويعرف هذا بمرض السكر الكاذب Diabetes Insipidus.

جـ ـ الفص الأوسط *Intermediate Lobe*

لا يعرف للفص الأوسط من الغدة النخامية دور واضح حتى الآن فى الافراز الهرمونى سوى ما يعتقد عنه من افراز للهرمون المحفز للخلايا الملونة Melanocyte Stimulating Hormone (MSH).

٣ ـ الغدة الدرقية *Thyroid Gland*

يستمد اسم الغدة الدرقية من شكلها الذى يشبه الدرقة. إذ تتكون الكلمة من مقطعين أولهما: Thyroes وتعنى Oblong Shield أى الدرع المستطيل أو الدرقة المستطيلة أما المقطع الثانى eidos فيعنى Form أى شكل أو هيئة. وتتكون الغدة الدرقية من فصين جانبيين يصل بينهما جزء يعرف بالبرزخ. ويقع الفصان على جانبى الجزء العلوى من القصبة الهوائية أو الجزء السفلى من الحنجرة. ويتأثر حجم هذه الغدة ويتغير تركيبها بعدة عوامل أهمها: السن والجنس ودرجة الحرارة والتغذية ونسبة اليود فى الغذاء. والعامل الأخير يعد أهم هذه العوامل.

وتفرز الغدة الدرقية الهرمونات الآتية:

- الثيروكسين *Thyroxin*

لهذا الهرمون مركبان مشتقان منه، يفرزان أيضاً من الغدة الدرقية كهرمونين وهما: ثنائي أيودو الثيرونين Diiodothyronine (DIT) وثلاثى أيودو الثيرونين Triiodothyronine (TIT). وتفرز الهرمونات الثلاثة تحت تأثير الهرمون المحفز للغدة الدرقية Thyroid Stimulating Hormone (TSH) الذى يفرز من الفص الأمامى للغدة النخامية. ومن العجيب أن ارتفاع معدل الثيروكسين فى الدم هو الذى يمنع افراز الهرمون المحفز للغدة الدرقية TSH.

وللهرمونات الثلاثة أهمية ترجع إلى أنها:
- تسرع من معدل التنفس الخلوى (أكسدة الغذاء)، وبالتالى تزيد سرعة التحول الغذائي فى الجسم، فيزداد استهلاك الأكسجين، ويزداد انطلاق الحرارة من الجسم.
- يعمل مع هرمونات أخرى على نمو ونضج الجسم. ويشمل هذا نمو ونضج العظام والأسنان والنضوج الجنسى والأنشطة العقلية.

- هرمون الكالسيتونين *Calcitonin*

يعمل هذا الهرمون على منع تحلل العظام، وذلك من خلال خفض معدل الكالسيوم والفوسفور فى الدم. وعمل هذا الهرمون يعاكس عمل هرمون الغدد جارات الدرقية. وقد استخدم بنجاح فى علاج حالات ارتفاع الكالسيوم فى الدم Hypercalcemia. ويزداد افرازه بتأثير هرمون الجاسترين.

ويتوقف نشاط الغدة الدرقية على عدة عوامل منها:
أ - كمية اليود فى الدم ومدى ورود الدم إلى الغدة الدرقية.
ب - الغذاء، إذ تقلل الأغذية الفقيرة فى مركبات اليود والبروتينات من نشاط الغدة، والعكس صحيح.

جـ ـ التحكم الهرمونى للغدة النخامية ومنها الهرمون المحفز للغدة الدرقية.

د ـ درجة الحرارة، إذ ينشط الجو البارد هذه الغدة. لذا فإن الحيوانات ثابتة الحرارة Homotherms يزداد افرازها لهذه الهرمونات فور تعرضها لجو بارد، والعكس صحيح عند تعرضها للحر. ولعل هذا له علاقة بالطاقة الحرارية التى تشع نتيجة أكسدة الغذاء وتستخدم لتدفئة الجسم.

ويسبب النشاط غير الطبيعى للغدة الدرقية آثاراً غير طيبة فعندما ينخفض معدل اليود الذى يؤخذ مع الطعام عن عشرة ميكروجرامات فى اليوم فإن عملية تخليق هرمونات الغدة الدرقية تصبح غير كافية. وبالتالى فإن معدل الافراز ينخفض. وفى الوقت نفسه يؤدى هذا الانخفاض إلى زيادة افراز الهرمون المحفز للغدة الدرقية TSH الذى يفرزه الفص الأمامى للغدة النخامية، مما يؤدى فى النهاية إلى تضخم الغدة الدرقية لتصبح مليئة بمادة غروية تفتقر إلى اليود. ويسمى هذا بالورم الدرقى Goiter. وهو يعالج باستعمال العقاقير المحتوية على الثيروكسين لإيقاف نمو الورم. كما يزول الورم نهائياً باستخدام اليود إذا عولج فى المراحل المبكرة. وهناك ورم آخر يحدث فى الغدة الدرقية يسمى فرط الدراق Hyperthyrodism، ويسمى أحياناً بالتسمم الدرقى Thyrotoxicosis، ويسمى أيضاً الورم الجحوظى Exophthalmic Goiter. وهذا الورم هو أكثر أمراض الغدد الصماء شيوعاً، وينتج عن افراط فى افراز هرمونات الغدة الدرقية بشكل غير طبيعى، مما يسبب تضخماً ملحوظاً للغدة الدرقية. وينتفخ الجزء الأمامى من الرقبة تبعاً لذلك. ويترتب على ذلك أيضاً زيادة فى معدل تأكسد الغذاء وزيادة فى معدل الأيض عموماً، مما يؤدى إلى الهزال ونقص فى وزن الجسم رغم وجود شهية ضارية وشراهة كبيرة للطعام. كما تزداد دقات القلب (الخفق)، ويرتفع ضغط الدم، ويزداد التهيج العصبى. وقد يكون التضخم مصحوباً بجحوظ فى العينين. ومن هنا جاءت التسمية الأخيرة. ولعلاجه يلجأ الطبيب إلى بتر جزء من الغدة الدرقية جراحياً. وقبل الشروع فى الجراحة تستعمل بعض العقاقير لإعادة معدل الأيض إلى الوضع الطبيعى.

أما نقص افراز الغدة الدرقية Hypothyrodism فيؤدى إلى ظهور نوعين من الأمراض، تبعاً لتوقيت وكيفية حدوثهما، وهما:

أ ـ القماءة *Cretinism*

هذا المرض هو نقص خلقى Congenital فى افرازات الغدة الدرقية فى مرحلة الطفولة أو عند ولادة الطفل بدون الغدة الدرقية أو إذا كانت الأم تعانى أثناء الحمل من نقص فى اليود. فيبدو الجسم قصيراً والرأس متسعاً والرقبة قصيرة. كما يؤثر نقص هرمون الثيروكسين على نمو خلايا الجسم والمخ خاصة. وبالتالى يؤثر على النضوج العقلى للطفل، مما يسبب له تخلفاً عقلياً دائماً وبلادة ولا مبالاة Apathy وتأخراً فى النضوج الجنسى.

ب ـ الورم المخاطى (الوذمة المخاطية) *Myxedema*

يحدث هذا المرض نتيجة لضمور الغدة الدرقية أو إزالتها جراحياً أو عند تعريض الرقبة للأشعة السينية (x) لمعالجة الأورام اللمفية Lymphoma. وتتمثل أعراضه فى الإصابة بالضعف والتعب وشحوب اللون وجفاف الجلد وقلة الشعر خاصة الحاجبين ونقص فى النشاط الجسمى والعقلى وزيادة فى وزن الجسم لدرجة السمنة المفرطة وهبوط فى معدل الأيض فلا يحتمل المصاب البرودة. كما يتعب بسرعة، خاصة وأن دقات القلب تتباطأ ويقل ضغط الدم. كما يعانى المريض من الإمساك وضعف فى حواس الذوق والشم وعسر التنفس Dyspenea.

٤ ـ الغدد جارات الدرقية *Parathyroid Glands*

الغدد جارات الدرقية هى أربعة فصوص كمثرية الشكل ملتصقة بشكل زوجى على الجانب الخلفى للغدة الدرقية فى الطرفين العلوى والسفلى. وتفرز هذه الغدد هرموناً بروتينياً من سلسلة عديد الببتيد يسمى هرمون جارات الدرقية، باراثيرويد، ويسمى أحياناً باراثرمون.

ولهذا الهرمون دور هام فى تنظيم أو ثبات معدلى الكالسيوم والفوسفور فى الدم، وذلك عن طريق تنظيم أيض هذين العنصرين فى الجسم. ويجعل هذا الهرمون معدلى الكالسيوم والفوسفور فى جسم الانسان ثابتين عند مستوى ١٠ ملجم/١٠٠ مل^{٣} من الدم و٥ملجم/١٠٠مل^{٣} من الدم على التوالى، فيكون التوازن الكلسى الفوسفورى ٢ : ١ . وأية زيادة فى هذين العنصرين تترسب وتندمج مع العظام أو تفرز عن طريق الجهاز البولى عبر الكليتين. ولكى يحافظ هذا الهرمون على معدل الكالسيوم فى الدم فإنه يعمل على:

ـ تحرير الكالسيوم من العظام فى عملية تخضع لتنظيم التغذية العكسية Feed back، والتى فيها يتحكم الكالسيوم المتحرر من العظام فى انطلاق الهرمون من هذه الغدد ويخفضه. وبالتالى إذا انخفض معدل الكالسيوم فى الدم فإن هذه الغدد تفرز الهرمون الذى يحرر الكالسيوم من العظام وهكذا. وتدعونا عملية تحلل العظام وبناءها المرتبطين بهرمون الغدد جارات الدرقية إلى الخوض فى فسيولوچية العظام. فالعظم عبارة عن نسيج حى له أصل بروتين كولاجينى مشرب بالكالسيوم والفوسفات. وهذان العنصران دائما التغير، بمعنى أن العظم يقع فى حالة ما بين تآكل وبناء. ويوجد فى نسيج العظم ثلاثة أنواع من الخلايا الهامة هى: خلايا التعظم Osteoblasts التى تكون مسئولة عن افراز المادة الكولاجينية للعظم، والخلايا العظمية Osteocytes التى تحاط بالمادة الخلوية المتكلسة Matrix، والخلايا كاسرة العظام Osteoclasts. وهذا النوع الأخير من الخلايا هو خلايا عديدة النواة مسئولة عن نحت العظم وتآكله وإعادة امتصاصه. ويتحول النوع الأول إلى النوعين الثانى والثالث. وعندما يكون تركيز هرمون جارات الدرقية منخفضاً فإن الخلايا الأولية تتحول إلى خلايا تعظم Osteoblasts. أما إذا ارتفع تركيز الهرمون فإنها تتحول إلى خلايا كاسرة للعظم Obsteoclasts. وتؤدى هذه العملية إلى ارتفاع نسبة الكالسيوم فى الدم، نظراً لتحرره من العظم. فيؤدى هذا إلى اختلال العديد من الأنشطة الفسيولوچية

الهامة بالجسم، منها على سبيل المثال: نفاذية أغشية الخلايا Cell Permeability، وقابلية الألياف العصبية للاستثارة Excitability، وانطلاق الناقلات العصبية Neurotransmitters وانقباض العضلات وتجلط الدم. وتبلغ خطورة ارتفاع معدل الكالسيوم فى الدم أقصاها إذا علمنا أنها تؤدى إلى توقف القلب عند انقباضه Systole.

ويشكل هرمون الغدد جارات الدرقية وهرمون الكالسيتونين الذى يفرز من الغدة الدرقية آلية دقيقة لتنظيم معدل الكالسيوم فى الدم (١٠ ملجم/١٠٠ مل^{٣} من الدم). إذ أن تأثير أحدهما يضاد تأثير الآخر، فبينما نجد الأول يعمل على انطلاق الكالسيوم من العظام فإن الثانى يعمل على منع انطلاق الكالسيوم من العظام.

ـ التأثير على الأمعاء بحيث يزيد من معدل امتصاصها للكالسيوم الموجود فى الغذاء ليقل بالتالى فقده مع البراز. وتتأثر هذه العملية بوجود ڤيتامين د الذى يطلق عليه كول كالسيفيرول Cholcalciferol والذى ينتجه الجلد من مشتقات الكوليستيرول فى وجود ضوء الشمس (الأشعة فوق البنفسجية). ثم يمر بمرحلتين يضاف إليه فيهما مجموعتا هيدروكسيل، تتم الأولى فى الكبد والثانية فى الكلية ليصل المركب إلى صورته النشطة فى النهاية وهى 1,25-Dihydroxycholcalciferol. وعلى أية حالة فإن سيطرة هرمون الغدد جارات الدرقية على عملية امتصاص الكالسيوم من الأمعاء تتضح إذا علمنا أن هذا المركب النشط تصنعه الكليتان بتأثير هرمون الغدد جارات الدرقية.

ـ زيادة امتصاص الأنيبوبة الكلوية فى الكليتين للكالسيوم فى حالة ارتفاع معدله بالدم فيطرد مع البول.

ويحدث نقص افراز هرمون الغدد جارات الدرقية Hypoparathyrodism عند تعاطى كميات كبيرة من حليب البقر بشكل يكبر معه الطلب على افراز

الغدد جارات الدرقية، أو عقب الولادة، أو عند تعرض الغدة الدرقية للتلف أو للأشعة السينية. ويؤدى النقصان الحاد فى افراز هرمون الغدد جارات الدرقية إلى حدوث نقصان فى تركيز الكالسيوم فى الدم. وبالتالى يؤدى إلى تأثيرات عصبية وعضلية وكيميائية، تتلخص جميعها فى تشنج الأعصاب وتوترها وسرعة الاندفاعات العاطفية وتشنج العضلات Cramp وتقلصها انقباضات مستمرة وغير منتظمة. كما تتقلص عضلات الوجه والأطراف تقلصات متقطعة. ويصاب الشخص بعسر تنفس Dyspenea مع أزيز Wheezing وصرير Stridor وازدواج الرؤية Diplopia وخوف من الضوء Photophobia. وكل هذه الأعراض تشبه أعراض مرض التيتانوس Tetany. أما الحالات المزمنة فأعراضها النوام Lethargy والقلق النفسى وتردى القدرات الذهنية.

أما زيادة افراز الغدد جارات الدرقية Hyperparathyrodism فتحدث نتيجة لتورم الغدة Adenoma أو تسرطنها أو فرط تكونها Hyperplasia. وتعنى زيادة افراز هرمون هذه الغدة زيادة فى تركيز الكالسيوم بالدم. وهذا الكالسيوم الزائد فى الدم ناتج عن نزع الكالسيوم من العظام Decalcification بفعل زيادة هرمون هذه الغدة. وبالتالى يتخلص الجسم من الكمية الزائدة من الكالسيوم عن طريق الكليتين. لكن هذه الزيادة تكون بالطبع على حساب كالسيوم العظام لا الغذاء، مما يسبب ليونتها وهشاشتها وتعرضها للكسر بسهولة. ويلى مرحلة نزع الكالسيوم من العظام مرحلة أخرى تسمى تخلخل العظام Osteoporosis أشد تأثيراً، تصبح فيها العظام مسامية منخورة، وفيها تشرع الخلايا كاسرة العظم Osteoclasts فى التهام المادة العضوية التى نزع الكالسيوم منها. وفى الوقت الذى تختفى فيه العظام بهذه الطريقة نجد أن هناك مادة ليفية تكون عليها عظم جديد رقيق. وعندما تسوء هذه الحالة تبدأ بعض الحويصلات فى الظهور على النسيج الليفى مؤدية إلى تكوين تمزقات وكسور، وهى الحالة التى تعرف بالتهاب العظام الليفى الكيسى Osteitis Fibrosa Cystica.

ومن الأعراض المبكرة لزيادة افراز الغدد جارات الدرقية كثرة التبول Polyuria والعطش Polydipsia. وقد تتكون فى الكلية فيما بعد حصوات من أكسالات أو فوسفات الكالسيوم. وقد يتطور الحال إلى حدوث ترسبات كلسية كلوية Nephrocalcinosis تتلف الكلية وتسبب نزيف الدم مع البول Uremia.

ويؤدى ارتفاع معدل الكالسيوم إلى ارتفاعه أيضاً بالعقد العصبية السمبتاوية التى هى جزء من الجهاز العصبى الذاتى المسئول عن نشاط الأعضاء الداخلية اللا إرادية كالقناة الهضمية، ويعوق ذلك نقل الحوافز العصبية بالشكل الذى يؤدى إلى استرخاء المعدة والأمعاء الغليظة فتكون النتيجة هى حدوث إمساك مستمر مصحوب بعسر هضم Dyspepsia وغثيان Nausia واستفراغ.

٥ ـ الغدتان الكظريتان أو فوق الكلويتين *Adrenal or Suprarenal Glands*

تقع الغدتان الكظريتان أو فوق الكلويتين متناظرتين؛ كل على قمة كلية. وتتخذ الغدة اليسرى منهما شكلا هلاليا بينما تتخذ اليمنى شكلا مثلثا.

وتنقسم كل غدة إلى نسيجين: خارجى محيطى ويدعى القشرة Cortex، وداخلى مركزى هو النخاع Medulla. وتفرز هاتان الغدتان عدداً كبيراً من الهرمونات قد يصل إلى ثلاثين هرموناً. وبالتالى فإن إزالة هاتين الغدتين يؤدى إلى الموت السريع. والهرمونات التى تفرزها القشرة تختلف عن تلك التى يفرزها النخاع.

أولا ـ هرمونات القشرة *Corticosteroid Hormones*

وهى تصنف حسب وظيفتها إلى ثلاث مجموعات:

المجموعة الأولى: الهرمونات السكرية (الجلوكوكورتيكويدات *Glucocorticoides*) : وتضم هذه المجموعة عدداً من الهرمونات عرف عنها تأثيرها المباشر على أيض الكربوهيدرات فى الاتجاه البنائى Anabolism أى بشكل معاكس لاتجاه تفاعلات تحلل

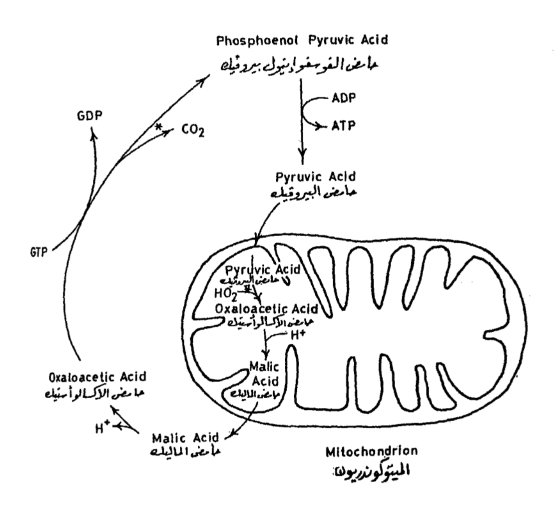
الجلوكوز Glycolysis ودورة كريبس. إذ أن تفاعلات هذين تسير كلها فى الاتجاه الهدمى Catabolism. وأهم هذه الهرمونات السكرية الكورتيزول Cortisol والكورتيزون Cortisone والكورتيكوستيرون Corticosterone. ويعد الكورتيزول أشدها تأثيراً، وله علاقة قوية بعملية الأيض. وهو يعمل على تحويل المواد غير السكرية كالأحماض الأمينية والدهون إلى جلوكوز، ويعمل أيضاً على التقليل من استهلاك الجلوكوز. ولهرمون الكورتيزون أهمية بالغة تنبع من استعماله فى حالات الالتهاب لإزالة الشعور بالألم كما فى حالات الحساسية والروماتيزم.

هذا ويمكن حصر وظائف الهرمونات السكرية فى الآتى:

أ - التأثير على أيض الكربوهيدرات فى الاتجاه البنائى (مسار تصنيع الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية *Gluconeogenesis*)

- تحويل حامض البيروفيك إلى حامض فوسفو إينول بيروفيك: نظراً لأن الخطوة الأصلية فى تحلل الجلوكوز Clycolysis هى ذات اتجاه واحد فإن تحويلها بهذا الشكل يتطلب من الخلية الحية التحايل للالتفاف حولها (شكل ٤١). ويتم ذلك بدخول جزىء حامض البيروفيك إلى الميتوكوندريا حيث تضاف إليه مجموعة كربوكسيل ليتحول إلى حامض الأوكسالو أسيتك الذى يختزل إلى حامض الماليك. ويغادر حامض الماليك الميتوكوندريا إلى السيتوبلازم حيث تعاد أكسدته إلى حامض أوكسالو أسيتك الذى يكتسب مجموعة فوسفات من المركب الغنى بالطاقة GTP وتفقد جزيئاً من ثانى أكسد الكربون بواسطة إنزيم حامض فوسفو إينول بيروفك كربوكسى كينيز Phosphoenolpyruvic Acid Carboxy Kinase لتتحول فى النهاية إلى حامض الفوسفو إينول بيروفيك.

أما دور الهرمونات السكرية فإنها تحفز نشاط الإنزيم المسئول عن هذه الخطوة الأخيرة (نزع ثاني أكسيد الكربون)، وكذلك تحفز نشاط إنزيم حامض البيروفيك كربكوسيليز الذى يضيف مجموعة كربوكسيل إلى جزىء حامض البيروفيك عند دخوله إلى الميتوكوندريا.



شكل (٤١)

يوضح الالتفاف حول الخطوة ذات الاتجاه الواحد عند تولد حامض البيروفيك للعودة فى الاتجاه المعاكس.
(العلامة (*) تبين مواقع تأثير هرمونات القشرة السكرية.)

- تحفيز تحويل ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات وجليسرالدهيد -٣- فوسفات إلى فركتوز ١، ٦ ثنائي الفوسفات بواسطة إنزيم الألدوليز .
- وتحفيز تحويل فركتوز ١، ٦ ثنائي الفوسفات إلى فركتوز -٦- فوسفات بواسطة إنزيم فركتوز ثنائي الفوسفاتيز .
- وتحفيز تحويل فركتوز -٦- فوسفات إلى جلوكوز -٦- فوسفات بواسطة إنزيم أيزوميريز.
- وتحفيز تحويل جلوكوز -٦- فوسفات إما إلى جلوكوز بواسطة إنزيم جلوكوز -٦- فوسفاتيز أو إلى جلوكوز -١- فوسفات الذى يتحول إلى جليكوجين بواسطة إنزيم الفوسفوريليز.

ب- التأثير على أيض البروتينات

ويتم ذلك من خلال التأثير على نشاط الإنزيمات التى تعمل على نقل مجموعة الأمين Aminotransferases فى تفاعلات نقل مجموعة الأمين Transamination التى يمكن بواسطتها تحويل الأحماض الأمينية إلى مركبات تتحول فى النهاية إلى جلوكوز. ومن أمثلة هذه الطريقة تحويل الحامض الأمينى ألانين إلى حامض بيروفيك الذى يمكن أن يتأكسد فى النهاية (فى دورة كريبس) إلى جلوكوز، وكذلك تحويل كل من حامض الأسبارتيك والجلوتاميك إلى حامض أكسالو أسيتك وحامض ألفا - كيتوجلوتاريك على التوالى، وكلاهما من مركبات دورة كريبس.

جـ- التأثير على أيض الدهون

تعمل الهرمونات السكرية على زيادة نسبة الدهون فى الدم وتزيد من استخدامها لإنتاج الطاقة. وكذلك تعمل على توزيعها وتخزينها فى أماكن معينة فى الجسم كالإليتين والرقبة والوجه

المجموعة الثانية: الهرمونات المعدنية ***Mineralocorticoids***: تنحصر وظيفة هذه الهرمونات فى التحكم فى التحول الغذائى للأملاح والماء فى الجسم، وأهمها هرمون الألدوستيرون Aldosterone الذى يناط به العبء الأكبر فى تنظيم وتوازن عمليات التحول الغذائى للأملاح والماء. كما ينظم كمياتها التى تخرج مع البول. فهى تشجع على إعادة امتصاص أيونات الصوديوم والكلور والبيكربونات بينما تشجع على التخلص من البوتاسيوم فى الكليتين. وربما يرجع ذلك لأن الصوديوم يوجد بقلة فى الغذاء بينما يتوفر البوتاسيوم بكثرة نسبياً. وهكذا تعمل هذه الهرمونات على توازن الأملاح المعدنية فى الدم. والجدير بالذكر أن انخفاض تركيز الصوديوم فى الدم هو الذى يؤدى إلى زيادة افراز هرمون الألدوستيرون لكى يؤثر على أنيبوبات الكلية فيمنع خروج أيونات الصوديوم مع البول.

وتخضع عملية افراز هرمون الألدوستيرون لمجموعة من العوامل والمؤثرات يطلق عليها نظام انجيوتنسين ـ رنين Angiotensin - Renin . فعند انخفاض تركيز أيونات الصوديوم فى الجسم ينخفض بالتالى ضغط الدم، مما ينتج عنه انخفاض فى معدل سريان الدم فى الكليتين. وهذا يدفع الكليتين إلى افراز إنزيم يسمى الرنين Renin الذى يسرى فى الدم ولا يعيش أكثر من عدة دقائق يؤثر خلالها على مركب يفرزه الكبد بشكل غير نشط يسمى الانجيوتنسينوجين Angiotensinogen ويحوله إلى صورة نشطة هى الأنجيوتنسين. وتمارس هذه الصورة النشطة (الأنجيوتنسين) تأثيراً قوياً على خلايا قشرة الغدتين الكظريتين فتحفزها لتخليق هرمون الألدوستيرون الذى يؤثر بدوره على الأنيبوبات الكلوية ويمنع نزول الصوديوم مع البول حتى يعود تركيزه إلى الوضع الطبيعى.

المجموعة الثالثة: الهرمونات الجنسية (الستيرويدية) ***Sex Hormone***: تفرز قشرة الغدتين الكظريتين كمية ضئيلة من الهرمونات الجنسية التى تشابه تماماً

الهرمونات الجنسية التى تفرزها الغدد التناسلية (الخصيتان أو المبيضان). وتقسم الهرمونات الجنسية التى تفرزها قشرة الغدتين الكظريتين إلى مجموعتين رئيسيتين هما:

- الأندروجينات *Androgens*: وهى الهرمونات المسؤولة عن إبراز الصفات الجنسية الثانوية الذكرية. وأشهرها هرمون التستوستيرون Testosterone.
- الإستروجينات Estrogens: وهى الهرمونات المسؤولة عن إبراز الصفات الجنسية الثانوية الأنثوية، وأشهرها هرمونا البروجستيرون Progesterone والاستراديول Estradiol.

ونظراً لأن هذه الهرمونات تفرز أيضاً من الغدد التناسلية ونشاطها متشابه مع ما تفرزه الغدد التناسلية من هرمونات جنسية فإنه إذا حدث اختلال بين توازن الهرمونات الجنسية المفرزة من قشرة الغدتين الكظريتين وتلك المفرزة من الغدد التناسلية فإن ذلك يؤدى إلى ظهور صفات الرجولة فى النساء كخشونة الصوت وزيادة قوة العضلات ونمو الشعر فى الوجه وفى الذكور تؤدى إلى ظهور علامات الأنوثة كنعومة الصوت وكبر الثديين، وقد تؤدى إلى ضمور الخصيتين.

ثانياً: هرمونات النخاع *Medulla Hormones*

يفرز نخاع الغدتين الكظريتين هرمونين متشابهين فى التركيب والتأثير. ويطلق عليهما معاً الكاتيكول أمينات Catecholamines. والهرمونان هما:

- هرمون الأدرينالين أو الإيبينفرين Adrenaline or Epinephrine
- هرمون النور أدرينالين أو النور إيبينفرين Norepinephrine or Norepinephrine.

وعمل هذين الهرمونين معاكس لعمل هرمون الإنسولين. ويزداد افرازهما زيادة غير مرضية وبكثرة فى حالات الخوف والغضب والانفعالات النفسية أو

المفاجأة أو التعرض للبرد أو نقص جلوكوز الدم. ويؤدى ذلك إلى إنتاج طاقة كبيرة للتصرف إزاء حالات الطوارىء، مما يؤدى بالانسان للقيام بعمل فوق طاقته. ولذا يطلق على هذين الهرمونين هرمونا الطوارئ. وتتلخص تأثيرات هذين الهرمونين فى الآتى:

- لهما دور هام فى أيض الكربوهيدرات. إذ يعملان على زيادة معدل الجلوكوز بالدم عن طريق تسريع تحلل جليكوجين الكبد إلى جلوكوز فى الدم وتحويل جليكوجين العضلات إلى حامض لاكتيك فى الدم. ويصاحب ذلك انتاج طاقة مباشرة بالعضلات. ويتحول حامض اللاكتيك فى النهاية إلى جليكوجين فى الكبد وهكذا.
- يعملان على توسيع الأوعية الدموية فى الجلد والعضلات لإتاحة الفرصة لتوصيل الدم الكافى إليهما.
- يعملان على انقباض الأوعية الدموية،مما يؤدى إلى رفع ضغط الدم وزيادة سرعة دقات القلب لضخ كميات كبيرة من الدم إلى العضلات. ويصاحب ذلك سرعة فى التنفس لتزويد الدم بكمية كافية من الأكسجين، وبالتالى تزويد العضلات بهذا الأكسجين.
- يعملان على توسيع القصبة الهوائية. لذا يستعملان، والأدرينالين بصفة خاصة، فى علاج الربو. كما يعملان على توسيع حدقة العين (البؤبؤ) وعلى زيادة افراز الغدد اللعابية.

ويحدث الاضطراب فى افراز قشرة ونخاع الغدتين الكظريتين أضراراً عديدة يمكن حصرها فيما يلى:

أولا ـ القشرة

ـ نقص الافراز:

يظهر نقص افراز قشرة الغدتين الكظريتين على صورتين هما:

أ ـ **نقص حاد:** ويسمى أيضاً بالأزمة الكظرية Adrenal Crisis، وهى تحدث نتيجة لتلف مفاجىء فى نسيج الغدة النخامية أو الغدتين الكظريتين كما فى حالات الجراحة والجلطة. ويؤدى ذلك إلى وفاة المريض خلال ساعات. ويشكو المريض قبل الوفاة من صداع وارتفاع حرارة تزيد عن الأربعين درجة مئوية وفتور وغثيان واستفراغ وآلام فى البطن وإسهال وغيبوبة وازرقاق فى اللون مع ظهور بقع تحت الجلد نتيجة نزف بعض الشعيرات الدموية ويكمن العلاج فى الحقن بالهيدروكورتيزون.

ب ـ **نقص مزمن:** ويسمى أيضاً بمرض أديسون Addison's Disease، وهو يحدث نتيجة للتدخل الجراحى فى الغدتين الكظريتين لسبب أو لآخر كالسرطان أو ارتفاع ضغط الدم. ويشكو المريض بضعف واجهاد وارهاق وفقدان الشهية للطعام ونقص فى الوزن وغثيان واستفراغ وإسهال. وتظهر بقع سوداء على الغشاء المخاطى داخل الفم وينخفض ضغط الدم. ويقل أو ينعدم شعر الإبطين والعانة وتتسوس الأسنان ولا يفرز الجسم عرقاً. وللعلاج يعطى المريض علاجاً مركباً من الهرمونات السكرية والمعدنية.

ـ زيادة الافراز:

يزيد افراز قشرة الغدتين الكظريتين نتيجة لفرط تكون نسيجها Hyperplasia أو تورمها Adenoma أو تسرطنها Carcinoma. وتختلف التأثيرات تبعاً لنوع الافراز الزائد. هذا ويمكن تمييز ثلاثة أنواع من التأثيرات هى:

أ ـ **مرض كوشنج** *Cushing's Syndrome*: وينشأ نتيجة لفرط افراز هرمون الكورتيزول، إما لزيادة فى افراز الهرمون محرر الهرمون المحفز للغدتين الكظريتين Adrenocorticotrophic Hormone (ACTH) من الفص الأمامى للغدة النخامية أو لتورم الغدتين الكظريتين أو لاستعمال الكورتيزون أو لوجود أورام خبيثة فى مواقع أخرى بالجسم. وتتلخص

أعراض هذا المرض فى استدارة الوجه Moon Face وتضخم بين الكتفين بما يعرف بسنام الجاموس Buffalo hump وانفتاح الشهية مع بروز البطن وتحدبها بينما تبقى الأطراف مستدقة ويصاب الرجل بالعنّة، أما المرأة فيقل حيضها أو ينعدم. ويشعر المريض بصداع وآلام فى الظهر وارتفاع فى ضغط الدم ويصطبغ وجهه بما يشبه الكلف وينمو فى النساء شعر الوجه كالشارب والذقن وينمو الشعر أيضاً على أذرعهن وسيقانهن. وهذه هي الظاهرة التى يطلق عليها الشعرانية Hirutism. وتظهر خطوط حول الفخذين والصدر والبطن، ويعانى المريض أيضاً من بعض الأعراض النفسية كتقلب المزاج والاضطرابات العصبية.

ب ـ **الاضطراب الكظرى المنسلى** *Adrenogenital Syndrome*: ويحدث هذا للنساء دون الرجال، إذ تظهر عليهن علامات الرجولة. وينتج هذا لزيادة افراز الأندروجينات المسؤولة عن ظهور الصفات الجنسية الثانوية المذكرة، وبالتالى يكون تأثيرها مهيمناً على تأثير الاستروجينات المسئولة عن الصفات الجنسية الثانوية المؤنثة. وتتمثل أعراض هذا الاضطراب فى تقطع الدورة الشهرية أو توقفها وتضخم الصوت وظهور شعر على الوجه وعلى الأطراف ويخف شعر الرأس. وقد يظهر صلع جزئي، ويختفى القوام الأنثوى المميز، ويضمر الثديان والأعضاء التناسلية.

جـ ـ **فرط افراز الألدوستيرون** *Hyperaldosteronism*: ويطلق هذا كما هو واضح من الاسم على الحالة الناتجة عن زيادة افراز هرمون الألدوستيرون. ويطلق على هذه الحالة أيضاً مرض كون Conn's Syndrome. وتتمثل أعراض هذا المرض فى ارتفاع ضغط الدم وفرط التبول Polyuria والعطش Polydipsia والضعف العضلى الذى قد يصل إلى الشلل.

ثالثاً: النخـــاع

لا تعرف حالة مرضية ناتجة عن نقص فى افراز نخاع الغدتين الكظريتين، وذلك لأن النخاع ليس هو الجهة الوحيدة المسئولة عن افراز هرمونى الأدرينالين والنور أدرينالين. إذ أنهما يفرزان أيضاً من المخ ونهايات الأعصاب السمبتاوية.

أما زيادة افراز النخاع فتتسبب فى حدوث بعض الأمراض، أهمها ورم خلايا الكرومافين Pheochromocytoma. وخلايا الكرومافين هذه هى نفسها خلايا النخاع فى الغدتين الكظريتين. وتتمثل أعراض هذا المرض فى حدوث نوبات من الصداع الشديد وخفقان القلب والتعرق وزيادة ضغط الدم وعدم وضوح الرؤية وآلام فى البطن واضطراب وقلق وزيادة الشهية للطعام لكن مع فقدان فى وزن الجسم وتغيرات فى سعة الأوعية الدموية تؤدى إلى شحوب فى بعض الأحيان واحمرار فى الوجه والأطراف فى أحيان أخرى.

٦ ـ البنكرياس *Pancreas*

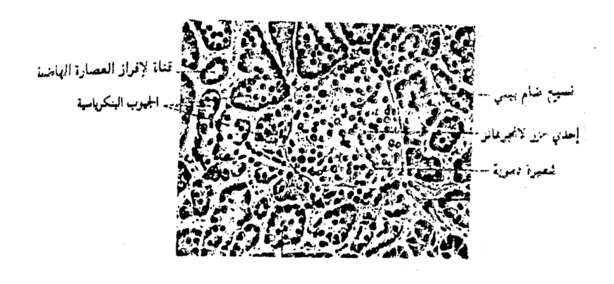
على الرغم من أن البنكرياس يعتبر من الغدد الملحقة للقناة الهضمية إلا أنه يعتبر أيضاً من الغدد المختلطة التى تجمع بين الافراز الخارجى (القنوى) والافراز الأصم (اللاقنوى). فهو يقوم بصب إنزيماته الهاضمة فى الاثنى عشر عن طريق قناة خاصة به. كما يعمل كغدة صماء من حيث أنه يفرز هرمونات خاصة به فى الدم مباشرة، وذلك من خلال خلايا غدية صغيرة متخصصة تعرف بجزر لانجرهانز Islets of Langerhans (شكل ٤٢). وتتركب هذه الجزر من نوعين كبيرين من الخلايا المعلومة الوظيفة هى خلايا ألفا Alpha Cells وخلايا بيتا Beta Cells ونوع ثالث ضئيل غير معلوم الوظيفة حتى الآن هو خلايا دلتا Delta Cells.

وظائف جزر لانجرهانز

ـ افراز خلايا ألفا

تفرز هذه الخلايا هرموناً عديد الببتيد يسمى الجلوكاجون Glucagon. ويعمل هذا الهرمون على رفع معدل السكر فى الدم، وذلك بتكسير مخزون الجليكوجين فى الكبد وتحويله إلى جلوكوز يمر إلى الدم.

يتم تأثير الجلوكاجون على الجليكوجين المخزون فى الكبد عن طريق أدينوسين أحادى الفوسفات الحلقى Cyclic AMP الذى يتكون من أدينوسين ثلاثى الفوسفات بواسطة إنزيم أدينيل سيكليز Adenyl Cyclais، الموجود على



شكل (٤٢)

مقطع فى البنكرياس يبين إحدى جزر لانجرهانز

التى تفرز خلاياها هرمونى الإنسولين والجلوكاجون

أغشية خلايا الكبد، ويتحفز نشاطه بواسطة هرمون الجلوكاجون الذى يصله من البنكرياس عن طريق الدم. وتؤدى زيادة نشـاط هذا الإنزيم إلى تراكم أدينوسين أحادى الفوسفات الحلقى Cyclic AMP فى خلايا الكبد الذى ينشط بدوره إنزيم البروتين كينيز Protein Kinase الذى ينشط إنزيم الفوسفوريليز كينيز Phosphorylase Kinase وذلك بإضافة مجموعة فوسفات إليه. وهذا الإنزيم يحول إنزيم آخر هو فوسفوريليز Phosphorylase من صورته غير النشطة Phosphorylase b إلى صورته النشطة Phosphorylase a. وهذه الصورة النشطة لهذا الإنزيم تعمل على تكسير مخزون الجليكوجين فى الكبد إلى جلوكوز ـ ١ ـ فوسفات Glucose -1- Phosphate، ثم يتحرر الجلوكوز من هذا المركب الأخير بنزع الفوسفات منه، ويدخل إلى تيار الدم عن طريق إنزيم جلوكوز فوسفاتيز Glucose Phosphatase الموجود فى الكبد.

وفى حالات الصيام الطويل أو التمارين الرياضية الشديدة يعمل هرمون الجلوكاجون على تحفيز تحلل الدهون من الأنسجة الدهنية Lipolysis.

افراز خلايا بيتا

تفرز هذه الخلايا هرموناً عديد الببتيد يسمى الإنسولين. ولقد أطلق عليه هذا الاسم لأن كلمة Insula تعنى باللاتينية جزيرة، وهى إشارة إلى جزر لانجرهانز. ويفعل هرمون الإنسولين عكس ما يفعله هرمون الجلوكاجون. إذ يعمل الإنسولين على خفض تركيز الجلوكوز بالدم، وذلك من خلال:

- المساعدة على أكسدة الجلوكوز فى خلايا الجسم، حيث وجد أن الإنسولين ضرورى لمرور السكريات الأحادية (ماعدا الفركتوز) من خلال جدار الخلية إلى داخلها حتى يمكن استخدامه.
- تشجيع تحول الجلوكوز إلى جليكوجين أو مواد دهنية تخزن فى الكبد والعضلات أو أنسجة أخرى.
- تثبيط تحلل الجليكوجين المخزون إلى جلوكوز.

ويؤدى نقص افراز هرمون الإنسولين إلى ارتفاع معدل السكر فى الدم Hyperglycemia، ومن ثم خروجه عن طريق الكليتين مع البول Glycosuria. ويعرف هذا بمرض السكر Diabetes Mellitus. وتعنى لفظة Diabetes باليونانية تسرب أما لفظة Mellitus فتعنى باللاتينية العسل. وقد أطلق المصطلح على ظاهرة تسرب السكر مع البول. ويمكن تعريف مرض السكر بأنه الخلل الذى يطرأ فى الجسم ويمنعه من استعمال المواد الكربوهيدراتية التى هى من أهم مصادر الطاقة للجسم. ونتيجة لهذا الخلل فإن هذه الكربوهيدرات التى يحولها الجهاز الهضمى إلى سكر تتراكم فى الدم لدرجة تجعلها تظهر فى البول. ومن أعراض مرض السكر غير ظهور السكر فى البول، زيادة عدد مرات التبول Polyuria خاصة فى الليل Nocturia. ولهذا يشعر المريض بالعطش Polydipsia، ويشعر بالجوع المصحوب بالنهم. وينقص وزن الجسم تدريجياً. لسرعة نفاذ الجليكوجين المدخر فى الكبد والعضلات. ويشكو من الصداع والدوار Dizziness واختلال فى الرؤية بالإضافة إلى آلام عصبية خاصة فى العصب الوركى (عرق النسا Sciatica). وفى الحالات الشديدة من المرض قد تظهر فى البول إلى جانب السكر الزائد فى الدم مركبات كيتونية تسمى الأجسام الكيتونية Ketone Bodies. وهذه المركبات هى الأسيتون وحامض الأسيتو أسيتيك وحامض بيتا هيدروكسى بيوتيريك. وتدعى ظاهرة نزول الأجسام الكيتونية مع البول بـ Ketonuria.

وعلى الرغم من ثبات النظرية القائلة بأن مرض السكر ما هو إلا نتيجة لعجز البنكرياس فى انتاج القدر الكافى من هرمون الإنسولين إلا أن هناك أسباب أخرى معروفة لهذا المرض هى:

- زيادة افراز هرمون الجلوكاجون نسبة إلى الإنسولين.
- أسباب وراثية، إذ تدل الإحصائيات على أن ربع حالات الإصابة بمرض السكر ترتبط بتاريخ أسرة أحد أفرادها مصاب بالمرض. كما تدل

الإحصائيات أيضاً على أن ربع الأطفال المولودين من أبوين مصابين بمرض السكر عرضة للإصابة به.

ـ الضغوط النفسية والعاطفية كالمعاناة والقهر والإحباط.

ـ الإصابة الفيروسية، وقد أمكن إحداث هذا فى حيوانات التجارب. لكنه لم يثبت حتى الآن فى الانسان.

هذا وينقسم مرض السكر إلى نوعين رئيسيين هما مرض السكر الأولى Primary (Idiopathic) Diabetes Mellitus ومرض السكر الثانوى Secondary Diabetes Mellitus.

أولاً ـ مرض السكر الأولى ***Primary (Idiopathic) Diabetes Mellitus***

ترجع أسباب هذا النوع إلى خلل فى تركيب الإنسولين أو خلل فى مستقبلاته على جدر الخلايا أو نقص فى تحويل البرو إنسولين إلى إنسولين. وينقسم هذا إلى صنفين هما:

ـ مرض السكر المعتمد على الإنسولين أو الذى يصيب الأطفال

Insulin Dependent Diabetes Mellitus or Juvenile Onset Diabetes Mellitus

وأسبابه وراثية، حيث لا تنتج الخلايا فى جسم الأطفال المصابين بهذا المرض الإنسولين المطلوب، وبالتالى فإن المريض يحتاج إلى حقنة إنسولين باستمرار.

ـ مرض السكر غير المعتمد على الإنسولين أو الذى يصيب الكبار

Non-Insulin Dependent Diabetes Mellitus or Maturity Onset Diabetes Mellitus

هذا الصنف من مرض السكر هو الأكثر شيوعاً من الصنف الأول. وهو

غالباً يصيب الأشخاص الذين يزيد وزنهم عن المعدل الطبيعى، أى ذوى السمنة المفرطة Obese People، وهم عادة فوق سن الأربعين، ويظهر هذا المرض على نحو تدريجى حين تفشل الأنسجة فى الاستجابة للإنسولين الموجود بصورة طبيعية.

ثانياً- مرض السكر الثانوى *Secondary Diabetes Mellitus*

وترجع أسبابه إلى مرض فى البنكرياس كالتهاب مزمن أو ورم أو عند استئصال البنكرياس فى عملية جراحية، أو ترجع إلى وجود مضادات الإنسولين بالجسم كحدوث مرض فى الغدة الدرقية أو فى الغدة النخامية أو فى الغدتين الكظريتين أو استعمال الستيرويدات فى العلاج لمدة طويلة.

٧ ـ الغدد التناسلية *Sex Glands*

يقصد بالغدد التناسلية الخصيتان والمبيضان. ووظيفتهما الأساسية المعروفة هى انتاج الخلايا التناسلية (الحيوانات المنوية أو البويضات)، إلا أنهما تفرزان عدة هرمونات جنسية تؤدى إلى التمايز الجنسى بين الذكر والأنثى بعدد من الخصائص التى تسمى الصفات الجنسية الثانوية. وهذه الصفات تختص بالمظهر والسلوك والطباع. وتتضح بشكل قوى فى مرحلة البلوغ الجنسى. وتستمر حتى مرحلة الشيخوخة. وتتكون الهرمونات الجنسية فى خلايا خاصة بالمناسل تعرف بالخلايا البينية Interstitial Cells، وذلك نتيجة لتأثير الهرمونات المنبهة للغدد التناسلية التى يفرزها الفص الأمامى للغدة النخامية. وهذه الهرمونات هى:

- **الهرمونات الذكرية *Androgens***: وهى تفرز من الخصيتين، وأهمها: هرمون التستوستيرون Testosterone المسئول عن إظهار الصفات الجنسية الثانوية المذكرة.

- الهرمونات الأنثوية *Estrogens*: وهى تفرز من المبيضين، وأهمها:

أ ـ هرمونات الأنوثة الاستراديول Estradiol والاسترون Estrone والاستريول Estriol. وكلها تعمل على نمو الصفات المميزة للأنثى ونمو أعضاءها التناسلية. ويؤدى نقص افراز هذه الهرمونات إلى ضمور تدريجى فى الأعضاء الجنسية والصفات الجنسية الثانوية الأنثوية.

ب ـ هرمونات الجسم الأصفر: الجسم الأصفر هو الجسم المتكون فى حوصلة جراف بعد انفجارها وخروج البويضة منها. ويعمل هذا الجسم على منع تكوين بويضات جديدة. ويقوم بافراز الهرمونات التالية:

- هرمون البروجستيرون *Progesterone*: الذى تتضح وظيفته من اسمه (Pro-gestation أى قبل الحمل) فهو يعمل على تهيئة الرحم لاستقبال البويضة المخصبة ثم نمو الجنين وتثبيته فى الرحم وتوفير الظروف الملائمة لاستمرار الحمل.
- هرمون الريلاكسين *Relaxin*: الذى يمنع انقباض عضلات الرحم أثناء الحمل، كما يهيئ الفراغ الكافى لنمو الجنين واتساع عظام الحوض عند الولادة، ويساعد أيضاً على نمو الثديين استعداداً لتكوين اللبن.

٨ـ المشيمة *Placenta*

المشيمة جسم مؤقت يتكون فى جدار رحم المرأة الحامل وعن طريقها ينتقل الأكسجين والغذاء من الأم إلى الجنين وتنقل الفضلات وثانى أكسيد الكربون من الجنين إلى الأم. وعلى الرغم من أن المشيمة غدة غير صماء إلا أنها تفرز عدة هرمونات أهمها:

- هرمون الاستروجين *Estrogen*: الذى يعمل على تعزيز واتمام عمل هرمونات الاستروجينات التى يفرزها المبيضان، كما يعمل على إيجاد توازن مع هرمون البروجستيرون.

- **هرمون البروجستيرون** *Progesterone*: الذى يعمل على تعزيز وإتمام عمل هرمون البروجستيرون الذى يفرزه المبيضان وذلك لإحكام استمرار عملية الحمل.
- **الهرمونات الكوريونية** *Chorionic Gonadotrophins*: التى تعمل على تنشيط الجسم الأصفر للاستمرار فى افراز البروجستيرون الذى يمنع بدوره افراز الهرمون المحفز للحوصلة FSH مما يحول دون نمو حوصلة جراف جديدة طيلة فترة الحمل.

٩ ـ غدد القناة الهضمية *Gastrointestinal Glands*

على الرغم من أن القناة الهضمية لا تعد من الغدد الصماء إلا أنها تفرز عدداً من الهرمونات أهمها:

أ ـ **هرمونات المعدة**: يفرز الجزء السفلى للمعدة هرموناً واحداً هو الجاسترين Gastrin الذى ينطلق إلى الدم كاستجابة لإشارة من العصب الحائر نتيجة لمجرد دخول الطعام إلى المعدة. وهذا الهرمون بدوره ينبه غددالمعدة لافراز عصارتها المعدية الهاضمة وينبه عضلاتها للتحرك. ويتوقف افراز هذا الهرمون عندما يزداد تركيز حامض الهيدروكلوريك فى المعدة.

ب ـ **هرمونات الاثنى عشر**: إن مجرد ملامسة الكتلة الغذائية الآتية من المعدة (الكيموس) لسطح الغشاء المخاطى المبطن للاثنى عشر ينبهه لافراز الهرمونات الآتية:

- **هرمون السكرتين** *Secretin*: يفرز هذا الهرمون بتأثير حموضة الطعام ويسرى فى الدم حتى يصل إلى البنكرياس. فينبهه لافراز العصارة البنكرياسية الغنية ببيكربونات الصوديوم والتى ترسل إلى الاثنى عشر لمعادلة حموضة الكيموس. ورغم أن السكرتين يحفز افراز إنزيم الببسين فى المعدة، إلا أنه يثبط افراز حامض الهيدروكلوريك فيها ويثبط كذلك نشاط الحركة المعوية.

- هرمون الكولى سيستوكينين - بنكريوزيمين *Cholecystokinin-Pancreozymin (C-CK-PZ)*: كان من المعتقد فى الماضى وجود هرمونين أحدهما الكولى سيستوكينين الذى يفرز بتأثير المواد الدهنية الموجودة فى الغذاء ويؤثر على الحوصلة الصفراوية فتستجيب له وتصب محتوياتها فى الاثنى عشر، والآخر بنكريوزيمين الذى يفرز بتأثير المواد البروتينية الموجودة فى الغذاء ويؤثر على البنكرياس فينبهه لافراز العصارة البنكرياسية الغنية بالإنزيمات الهاضمة ونصبها فى الاثنى عشر. لكن تبين أخيراً أن مخاطية الاثنى عشر لا تفرز سوى هرموناً واحداً له التأثيران السابقان على الحوصلة الصفراوية وعلى البنكرياس كما يعمل أيضاً على تنشيط المعدة وإفراغها لمحتوياتها. وهو يعمل أيضاً مع هرمون السكرتين على انقباض العضلة العاصرة البوابية فيمنع عودة الطعام من الاثنى عشر إلى المعدة.
- هرمون الانتيروجاسترون *Enterogastrone*: يفرز هذا الهرمون بتأثير المواد الدهنية الموجودة فى الغذاء ويعمل على وقف حركة المعدة كما يوقف افرازاتهاأيضاً.
- هرمون الديوكرينين *Duocrinin*: يفرز هذا الهرمون بتأثير حموضة الطعام، وينبه جدران الاثنى عشر نفسها لافراز أنزيماته الهاضمة.

جـ- **هرمونات الأمعاء الدقيقة**: تفرز هذه الهرمونات من بطانة جدار الأمعاء الدقيقة، وأهمها هرمون الإنتيروكرينين Enterocrinin الذى يفرز بتأثير نواتج الهضم الجزئي للبروتينات (الببتونات) الموجودة فى الغذاء والذى ينبه بدوره جدار الأمعاء الدقيقة بأكملها لصب افرازاتها الهاضمة من أجل إتمام عملية هضم الغذاء.

١٠ ـ الغدد الصنوبرية *Pineal Glands*

الغدد الصنوبرية هى غدد بيضاء صغيرة الحجم شكلها يشبه كوز الصنوبر. ويطلق عليها أحياناً الجسم الصنوبرى Pineal Body. وهى توجد على السطح العلوى للمخ، بين نصفى الكرة المخية. وتتصف بكثرة الأوعية الدموية المتصلة بها، مما يدل على قيامها بنشاط فسيولوچى هام وكبير. لكن هذا النشاط لم يعرف بشكل دقيق، إلا أن الأبحاث أشارت مؤخراً إلى أن استئصال هذه الغدد يؤدى إلى تحول الحيوان الصغير إلى بالغ. مما دعا بعض العلماء للافتراض بأن لهذه الغدد علاقة بمنع النضوج الجنسى عند الحيوان. كما يعتقد آخرون أن جزءاً معيناً من هذه الغدد هو بمثابة العين الثالثة فى الحيوانات الفقارية البدائية والتى تساعدها على الإبصار. فقد أثبتت بعض التجارب العلمية حساسية هذا الجزء للضوء. كما ثبت أن هذه الغدد تفرز هرمون الميلاتونين Melatonine الذى يعطى كائنات كثيرة كالبرمائيات مثلا لون جلدها المميز.

١١ ـ الغدة الزعترية (التيموسية) *Thymus Gland*

استمد اسم هذه الغدة من شكلها. إذ تعنى كلمة Thymos فى اليونانية القديمة نبات الزعتر. ولما كانت الغدة تشبه أزهار الزعتر فقد سميت بالزعترية. وهى تقع خلف عظمة القص فى أعلى الصدر عند تفرع القصبة الهوائية إلى شعبتين فوق القلب. وهى توجد كبيرة الحجم فى الانسان ومعظم الفقاريات أثناء مرحلة الطفولة أو الصغر. وتصل إلى أقصى حد لها عند سن البلوغ، ثم تبدأ فى الضمور مع تقدم العمر إلى أن تختفى فى مرحلة الرجولة أو اليفاعة.

وتفرز هذه الغدة هرموناً عديد الببتيد يسمى الزعترين أو التيموسين Thymosin، يلعب دوراً فى إكساب الجسم مناعة ضد الأمراض. وقد ذكر أخيراً أن هذه الغدة مصدر للخلايا اللمفية التى تسبح مع تيار الدم وتستقر فى

الطحال والغدد اللمفية وتصبح مسئولة عن انتاج الأجسام المضادة اللازمة لمقاومة الأمراض. وقد استخلص منها حالياً مادة تدعى THF تستعمل بنجاح فى علاج نقص المناعة الناتج عن مرض الإيدز.

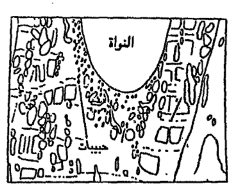
١٢ـ القلب *Heart*

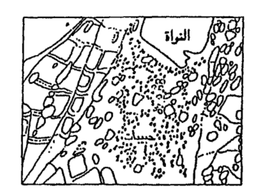
اكتشف فى السنوات القليلة الماضية أن القلب أكثر من مجرد مضخة، فهو غدة صماء أيضاً. إذ يفرز هرموناً ببتيدياً قوياً يدعى العامل الأذينى المخرج للصوديوم Atrial Natriuretic Factor (ANF). ويلعب هذا الهرمون دوراً هاماً فى تنظيم ضغط الدم وحجمه وفى اخراج الماء والصوديوم والبوتاسيوم. كما يؤثر على نطاق واسع فى الأوعية الدموية والكليتين والغدتين الكظريتين والجسم الهدبى (الذى يفرز السائل الزجاجى للعين والذى يشبه اللمف) وعدد كبير من مناطق التنظيم فى المخ. ففى المخ يرتبط العامل الأذينى المخرج للصوديوم بمواقع مختلفة تعمل على التحكم فى ضغط الدم وتنظيم الصوديوم والماء. وأما فى منطقة تحت السرير البصرى فإن هذا العامل يثبط افراز هرمون الفازوبرسين الذى يختزن فى الفص الخلفى من الغدة النخامية ويعمل مضاداً لإدرار البول ومضيقاً للشعيرات الدموية. ويسبب العامل استرخاء الخلايا العضلية الملساء فى جدران الأوعية الدموية. كما يثبط افراز هرمون الألدوستيرون (الذى يعمل على زيادة ضغط الدم) من الغدتين الكظريتين. كما ينبه الكليتين لزيادة طرد الصوديوم والماء من الكبة التى ترشح الدم كما يعمل هذا العامل على التقليل من إعادة امتصاص الصوديوم إلى الدم من الأنيبوبتين البعيدة والجامعة فى الكلية.

ويفسر هرمون العامل الأذينى المخرج الصوديوم ANF ما يحدث من اخراج للصوديوم وما يلازم ذلك من إدرار للبول. إذ لوحظ أن اخراج الصوديوم وما يرافقه من ادرار للبول يتبع تمدد الأذينين اللذين يستقبلان الدم من الأوردة الرئوية أو الوريد الأجوف ويرسلانه إلى البطينين المجاورين. ولقد أشير إلى هذا

الهرمون على أنه العامل الثالث باعتبار أنه يتمم نشاط عاملين معروفين ينظمان ضغط الدم وحجمه وهما هرمون الألدوستيرون وترشيح الدم بواسطة الكليتين.

وقد كانت الخطوة الأولى لهذا الاكتشاف عندما لوحظ وجود جسيمات كثيفة في خلايا العضلات القلبية لأذينى قلب خنزير غينيا. ثم لوحظ ذلك فى قلوب جميع الثدييات حتى الانسان أيضاً، ثم تؤكد أنها حبيبات خازنة تشبه إلى حد كبير جميع حبيبات الخزن فى خلايا الغدد الصماء (شكل ٤٣). ثم تبين ازدياد عدد هذه الحبيبات فى الخلايا القلبية الأذينية عندما تقل كمية الصوديوم فى طعام الحيوان. وهذا يعنى أن الحبيبات لابد أنها تختزن مادة ما لها علاقة بتوازن الصوديوم. ثم قام بعض العلماء بحقن محلول مسحوق متجانس من أذينات فأر فى فئران أخرى فلاحظوا ادراراً للبول واخراجاً للصوديوم بشكل سريع وغزير ولمدة قصيرة. وهكذا استنتجوا أن الأذينين يحتويان فى الحقيقة على عامل يزيد من معدل هذين التأثيرين. وأطلقوا عليه اسم العامل الأذينى المخرج للصوديوم.





شكل (٤٣)

حبيبات هرمون العامل الأذينى المخرج للصوديوم ANF المختزنة فى إحدى خلايا العضلات القلبية للفأر (مكبرة ١٢٠٠٠ مرة)

ثم وجد الباحثون أن ما يحتوى عليه الأذين الأيمن من الحبيبات يبلغ ضعفى ما يحويه الأذين الأيسر منها فى الفئران. وتتركز الحبيبات بشكل كبير بالقرب من سطح القلب وفى المناطق الخارجية من الأذينين. لكنها لم توجد قط فى بطينى قلب الفأر أو من الثدييات الأخرى، إلا أنها اكتشفت فى بطينى وأذينى قلوب الأنواع غير الثديية كما أمكن إثبات علاقتها باخراج الصوديوم وادرار البول فى هذه الأنواع. ثم قام أخيراً مجموعة من العلماء بعزل هذا الهرمون، فوجد أنه يتألف من نواة ذات ٢٨ حامضاً أمينياً.

الفصل الثالث عشر

الحركـــــــــة

Movement

الفصل الثالث عشر

الحـــــــركة

مفهوم الحركة

الحركة Movement هى ناتج عمل الجهاز الحركى الذى يشتمل على مجموع عضلات الجسم، أى أن العضلات هى المسؤولة عن حركة الأجزاء المختلفة فى الجسم.

الوحدة التركيبية فى الجهاز الحركى

الوحدة التركيبية فى الجهاز الحركى هى العضلة Muscle. والعضلات عبارة عن مجموعة من الأنسجة العضلية تمتاز بقدرتها على الانقباض والانبساط. لذا فإنها تمكن الجسم من القيام بحركاته الميكانيكية. وتتركب العضلة نسيجياً من عدد كبير من خيوط رفيعة متماسكة مع بعضها تسمى الألياف العضلية Muscle Fibres. وكل ليفة عضلية تحتوى على لييفات عضلية Muscle Fibrils or Myofibrils، يتراوح عددها ما بين ألف وألفى لييفة مرتبة طولياً وموازية للمحور الطولى للعضلة، بالإضافة إلى عدد كبير من الأنوية.

وتحاط كل ليفة عضلية بغشاء رقيق يفصلها عن الألياف العضلية المجاورة، ويسمى الغشاء العضلى Sarcolemma. أما بروتوبلازم اللييفة العضلية فهو مادة نصف سائلة تعرف بالسيتوبلازم العضلى أو الساركوبلازم Sarcoplasm والذى بداخله ينطمر عدد كبير من اللييفات العضلية.

وتتركب العضلة كيميائياً من حـوالى ٧٤٪ ماء و ١٨٪ بروتين والباقى جليكوجين وأملاح معدنية كالبوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم والفوسفور والماغنسيوم. وبروتين العضلة يوجد على شكل خيوط رفيعة تسمى أكتين Actin وخيوط غليظة تسمى ميوسين Myosin. وللنوعين علاقة مباشرة بآلية انقباض العضلة وانبساطها، كما سيلى ذكره فيما بعد.

الألياف الحمراء والألياف البيضاء

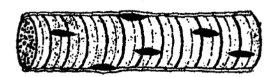
فى سيتوبلازم بعض الألياف العضلية Sarcoplasm يكثر وجود صبغ تنفسى يدعى الهيموجلوبين العضلى أو الميوجلوبين Myoglobin. وهو يعمل على نقل الأكسجين من الشعيرات الدموية إلى مواقع الأكسدة (الميتوكوندريا). ونظراً لأن هذا البروتين يشبه هيموجلوبين الدم من حيث احتوائه على الحديد فإنه يعطى الألياف العضلية مظهراً أحمراً وتسمى العضلات الحمراء Red Muscle. أما الألياف التى ينقصها الميوجلوبين فتكون شاحبة أو بيضاء وتسمى Pale or White Muscle. وكل العضلات تحتوى على كلا النوعين من الألياف العضلية. وللألياف العضلية الغنية بالميوجلوبين قدرة عالية على الأيض التأكسدى مع فعالية عالية لدورة كريبس وأنزيمات نقل الالكترونات. أما الألياف العضلية البيضاء فلها معدل عال من تحلل الجليكوجين اللاهوائى مع فعالية شديدة لإنزيمات تحلل الجليكوجين والفوسفوريليز. كما أن الألياف الحمراء أبطأ بكثير فى فعلها الانقباضى، ولكن تتحمل إعياءاً Fatigue أقل مما تتحمله الألياف البيضاء. ونتيجة لهاتين الميزتين فإن الألياف الحمراء محورة بشكل جيد لانقباضات السكون Static Contractions كالوقوف لفترة معينة من الوقت، وذلك يتم من قبل العضلات الباسطة المزودة بكثير من الألياف الحمراء. أما التغيرات فى وضع الأطراف أو الجسم نفسه فتتم بفعل الألياف البيضاء التى يكثر وجودها فى العضلات القابضة.

تصنيف العضلات ووظائفها

تصنف العضلات إلى ثلاثة أنواع هي:

أولا ـ العضلات المخططة *Striated Muscles*

وهي تبدو تحت المجهر خلايا اسطوانية مستطيلة ترتبط معاً بنسيج ضام لتكون حزماً (شكل ٤٤) وهي تبدى تخطيطاً عرضياً فضلا عن تخطيطها الطولي (شكلا ٤٦و ٤٧). وتسمى أحياناً العضلات الارادية Voluntary Muscles لأنها تخضع في حركاتها لإرادة الكائن الحي، لكنها قد تنقبض لا إرادياً بفعل القوس الانعكاسي. كما تسمى أيضاً بالعضلات الهيكلية Skeletal Muscles لأنها تلتحم بالهيكل العظمي.

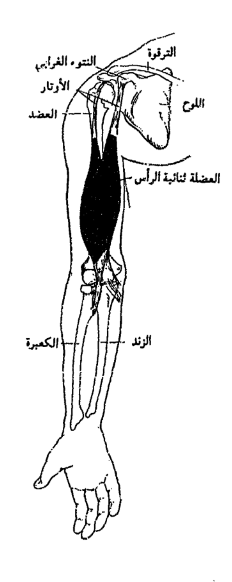


شكل (٤٤)

العضلة المخططة

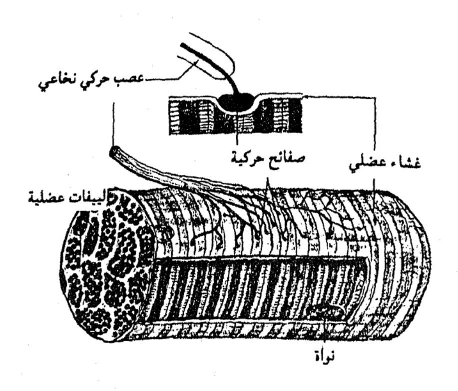
وترتبط العضلات المخططة (الهيكلية) مع العظام عن طريق الأوتار (شكل ٤٥). والوتر من النسيج الضام، ويتكون من ألياف بيضاء كثيفة (غير مرنة). وتلتصق ألياف الوتر على غلاف الألياف العضلية بصورة محكمة جداً. وتتفرق ألياف العصب الداخل إلى العضلة فتنتشر نفسها بين آلاف الألياف العضلية. وبما أن عدد ألياف العضلة يزيد كثيراً على عدد ألياف العصب الحركي فإن الألياف العصبية تتفرع كل منها مرة أخرى. وتنغمد الفروع العصبية الطرفية الصغيرة الخالية من الغلاف النخاعي في الغشاء العضلي Sarcolemma وتكون تركيباً

خاصاً يعرف بالصفيحة الحركية (شكل (٤٦). وقد تحتوى كل خلية عضلية على صفيحة حركية نهائية واحدة أوأكثر. ويطلق على الليفة العصبية المفردة مع كل الألياف العضلية التي تزودها بالأعصاب الوحدة الحركية Motor Unit أو الوحدة العصبية العضلية الفعالة Functional Neuromuscular Unit .



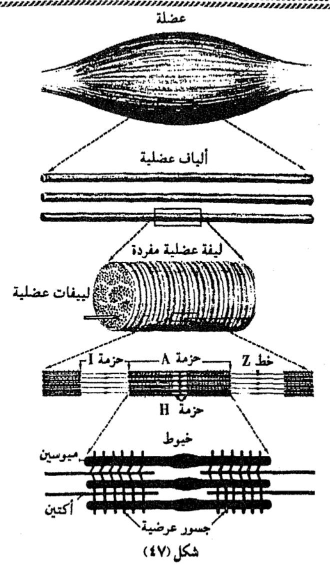
شكل (٤٥)

ارتباط العضلات المخططة (الهيكلية) مع العظام عن طريق الأوتار



شكل (٤٦)
العلاقة بين نهايات الألياف العصبية وليفة عضلية،
لتكوين الصفائح الحركية والوحدة الحركية

والتخطيطات العرضية التى تبدو تحت المجهر فى لييفات العضلات المخططة تكون نتيجة لتبادل الحزم المظلمة والحزم المضيئة (شكل ٤٧). ويطلق على الحزم المظلمة اسم الحزم متباينة الخواص Anisotropic أو حزم A، بينما يطلق على الحزم المضيئة اسم الحزم متساوية الخواص Isotropicأو حزم I. وتعرف الخطوط الكثيفة التى تقطع مركز كل حزمة I بخطوط Z، قاسمة اللييفات العضلية إلى وحدات أصغر. وتصطف الليفات المتجاورة بحيث يكون التخطيط فى وضع منتظم أى يظهر كحزم مستمرة عبر اللييفة العضلية. وفى مركز الحزمة A توجد منطقة أقل كثافة تسمى منطقة H (شكل ٤٧).



شكل (٤٧)

التخطيطات العرضية (الحزم المعتمة والمضيئة) فى اللييفات العضلية المخططة وخيوط الميوسين والأكتين

ولا تخضع العضلة من هذا النوع ككل لقانون الكل أو العدم All or None Law، بينما تخضع له اللييفة العضلية الواحدة. فهى عندما تنقبض فإنها تفعل ذلك بأقصى درجة بعكس العضلة ككل التى يمكن أن تتدرج قوتها فى الانقباض. ويرجع ذلك إلى ازدياد عدد الألياف التى تقوم بالانقباض. ويساعد على تلائم تركيب هذا النوع من العضلات مع وظيفته وجود الغشاء

العضلى Sarcolemma الذى يساعد على عزل كل ليفة عضلية عن الأخرى بحيث تنقبض ليفة عضلية بمعزل عن انقباض الألياف العضلية المجاورة لها.

التغيرات المصاحبة للانقباض

وعند انقباض هذه العضلات تحدث عدة تغيرات كهربية وميكانيكية حرارية وكيميائية. وأهم هذه التغيرات هى التغيرات الكيميائية، التى تتلخص فيما يلى:

يعمل إنزيم أكتوميوسين Actomyosin على إطلاق الطاقة من مركب أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP الذى يعتبر المصدر السريع للطاقة اللازمة لانقباض العضلة:

$$ATP \underset{\text{أكتوميوسين}}{\overset{\text{Actomyosin}}{\rightleftharpoons}} ADP + Pi$$

ATP		ADP	+	Pi
أدينوسين ثلاثى الفوسفات	أكتوميوسين	أدينوسين ثنائي الفوسفات		فوسفات

ثم يعاد تكوين مركب أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP مرة أخرى، وذلك من خلال تفكك المركب الخازن للطاقة كرياتين فوسفات:

$$\text{Creatine Phosphate} + ADP \longrightarrow \text{Creatine} + ATP$$

Creatine Phosphate +	ADP	→	Creatine +	ATP
كرياتين فوسفات	أدينوسين ثنائى الفوسفات		كرياتين	أدينوسين ثلاثى الفوسفات

كما يتحلل جليكوجين العضلات إلى حامض بيروفيك وحامض لاكتيك وينطلق قدر من الطاقة، إلا أن ذلك يتوقف على غياب الأكسجين أو وجوده.

أ ـ فى حالة غياب الأكسجين

عند تحلل الجليكوجين إلى حامض لاكتيك تنتج كمية قليلة من الطاقة تكفى لتكوين كمية قليلة من الكرياتين فوسفات. وهذه تكفى لكى تنقبض العضلة فى غياب الأكسجين. وبالطبع يتراكم حامض اللاكتيك نتيجة لتحلل كميات من الجليكوجين. ويتسبب تراكم حامض اللاكتيك فى إجهاد العضلة Muscle Fatigue. ويمكن إيجاز ما ينتج عن انقباض العضلة فى حالة غياب الأكسجين فى هذه النقاط:

١ ـ استهلاك الجليكوجين وتراكم حامض اللاكتيك بدلا منه.

٢ ـ نقص الكرياتين فوسفات بسبب عدم تكون طاقة تكفى لإعادة بنائه.

٣ ـ نقص أدينوسين ثلاثى الفوسفات ATP وتراكم أدينوسين ثنائى الفوسفات ADP والفوسفات Pi.

ب ـ فى حالة وجود الأكسجين

فى هذه الحالة يدخل حامض اللاكتيك أو حامض البيروفيك فى دورة كريبس حيث يتأكسدا هوائياً إلى ثانى أكسيد الكربون والماء وتنطلق كمية كبيرة من الطاقة. وهذه الأكسدة الهوائية ضرورية للعضلة، فمن خلالها تستطيع أن تقوم بشغل أكبر ولمدة أطول مما تقوم به فى غياب الأكسجين. إذ فى وجود الأكسجين يحترق $\frac{١}{٥}$كمية حامض اللاكتيك ويعطى طاقة تعمل على إعادة بناء الجليكوجين العضلى من بقية $\frac{٤}{٥}$ الحامض. كذلك يساعد فى تكوين الكرياتين فوسفات والأدينوسين ثلاثى الفوسفات، وهما من المكونات عالية الطاقة. ويمكن إيجاز مصير حامض اللاكتيك فى حالة وجود الأكسجين فيما يلى :

١ ـ يحترق $\frac{١}{٥}$كمية الحامض إلى ثانى أكسيد الكربون والماء وينطلق قدر كبير من الطاقة.

٢ـ تعمل هذه الطاقة المنبعثة على تحويل حامض اللاكتيك المتبقى إلى جليكوجين عضلى.

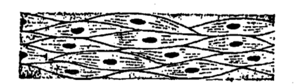
٣ـ وتعمل هذه الطاقة أيضاً على إعادة بناء المواد عالية الطاقة : الكرياتين فوسفات والأدينوسين ثلاثى الفوسفات.

٤ـ يسرى جزء من حامض اللاكتيك فى الدورة الدموية على هيئة لاكتات الصوديوم Sodium Lactate حيث يمر بدورة تسمى دورة حامض اللاكتيك Lactic Acid Cycle أو دورة كورى Cori Cycle (شكل ٦) التى تتلخص فى أن جزءاً من حامض اللاكتيك يصل إلى الكبد ويتحول إلى جليكوجين كبدى يتحول بدوره إلى جلوكوز ينطلق فى الدم ويصل إلى العضلة ثانية ويختزن فيها على هيئة جليكوجين عضلى. كما يصل جزء من حامض اللاكتيك إلى القلب الذى له القدرة على الاستفادة من هذا الحامض.

ثانياً ـ العضلات غير المخططة *Unstriated Muscles*

العضلات غير المخططة أو أحياناً الملساء Smooth Muscles لا تبدى تحت المجهر أية خطوط عرضية. وتظهر كل ليفة منها على شكل خلية مغزلية تحتوى على نواة مركزية الموقع (شكل ٤٨) وهى تسمى أحياناً العضلات اللاإرادية Unvoluntary Muscles ، لأنها تتحرك بدون إرادة الكائن الحى. كما تسمى أحياناً بالعضلات الحشوية Visceral Muscles لأنها توجد غالباً فى جدار الأحشاء وجميع الأعضاء المجوفة بشكل عام مثل المثانة البولية والرحم والأوعية الدموية والقنوات التنفسية والعضلات المحركة للشعر وعضلات العين ما عدا العضلات الهدبية.

وتتميز هذه العضلات بقدرة كبيرة على التمدد، كما يحدث فى المثانة البولية التى تستطيع اختزان كميات كبيرة من البول نتيجة لتمددها، وكما يحدث فى الرحم الذى يستطيع احتواء جنين متزايد الحجم مع النمو.



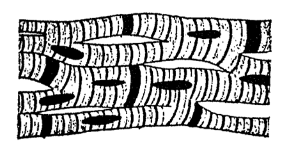
شكل (٤٨)

العضلة غير المخططة

ويغذى الجهاز العصبى الذاتى هذا النوع من العضلات بنوعين من الألياف العصبية الحركية، هما الأعصاب المنشطة والأعصاب المهبطة. وتستطيع هذه العضلات أن تنقبض تلقائياً وبدون الأعصاب، لأن هذا الانقباض ينشأ بداخلها. وإذا قطع العصب المغذى للعضلة فلا يصيب العضلة الضمور مثلما يحدث فى حالة العضلات المخططة.

ثالثاً ـ العضلات القلبية *Cardiac Muscles*

توجد هذه العضلات فى جدار القلب فقط وهى ذات صفات وسط بين النوعين السابقين. إذ أنها مخططة، ولها فى كل ليفة منها نواة مفردة ولكنها لا إرادية (شكل ٤٩). ومن الصفات المميزة لهذه العضلات أنها تتبع فى انقباضها قانون الكل أو العدم All or None Law. فهى تنقبض كلها كما لو



شكل (٤٩)

العضلة القلبية

كانت ليفة عضلية واحدة. حيث أنها تتصل ببعضها على شكل مدمج خلوى. ولذلك تنتقل السيالات العصبية بسهولة وتحدث الإثارة فى كل أجزاءها.

وتستمد العضلات القلبية طاقتها من حرق الجلوكوز أو حامض اللاكتيك الموجود فى الدم. وهذان يردان إلى القلب عن طريق الشعيرات الدموية التى تغذيه. وتميل العضلات القلبية إلى استهلاك حامض اللاكتيك عن الجلوكوز. وفى أثناء فترات الاجهاد حيث يحتاج القلب إلى مزيد من الوقود تنتج العضلات المخططة كميات كبيرة من حامض اللاكتيك نتيجة لاجهادها وعدم توفر الأكسجين الكافى لحرقه. فيمر هذا الحامض إلى الدورة الدموية حيث يذهب جزء منه إلى القلب ليمده بحاجته من هذا الحامض.

وعلى العكس من العضلات المخططة التى تعتمد على الجليكوجين الموجود بها ليمدها بالطاقة فإن العضلات القلبية لا تلجأ إلى استهلاك محتواها من الجليكوجين إلا عند الضرورة. ويتعطل عمل العضلات القلبية فى غياب الأكسجين، وذلك لعدم قدرتها على الاستفادة من الجليكوجين المختزن بها وتحويله إلى حامض لاكتيك.

وتعتمد العضلات على وجود الأملاح غير العضوية فى الوسط المحيط، وذلك بتركيزات معينة وإلا اختل عملها. وهذه الأملاح هى :

- البوتاسيوم الذى يقلل من سرعة القلب.
- الكالسيوم الذى يزيد من سرعة القلب ويقوى انقباضه بسرعة. ولهذا فإنه عند حقن الكالسيوم فى الوريد فإنه يعطى ببطء شديد.
- الصوديوم الذى يحافظ على سرعة القلب.

ولا تعتمد العضلات القلبية فى انقباضها على الجهاز العصبى المركزى، وذلك على عكس العضلات المخططة. والدليل على هذا أن القلب يظل ينقبض بقوة لمدة طويلة بعد موت الحيوان أو إذا نقل من جسم الحيوان أو إذا حقن بمخدر يشل نهاياته العصبية. كما وجد أن القلب فى جنين الانسان والطيور يبدأ فى الانقباض فى المراحل الجنينية المبكرة قبل أن تصل الأعصاب إليه (القلب). وعلى ذلك يوصف انقباض عضلات القلب بأنه انقباض ذاتى أى أن العضلة تقوم بذاتها بالانقباض. وعلى الرغم من قدرتها على الانقباض الذاتى، إلا أن سرعة وقوة الانقباض تخضع لسيطرة الجهاز العصبى الذاتى. ومن ذلك يتضح أن العضلات القلبية تتزود بنوعين من الألياف العصبية، أحدهما مثير والآخر مهبط، وكلاهما من الجهاز العصبى الذاتى. أما العضلات المخططة فتتزود بنوع واحد من الألياف العصبية تأتى إليها من الجهاز العصبى المركزى.

التناسق الحركى

لكى يتم تناسق الحركات المختلفة للجسم لابد من تعاون ثلاثة أجهزة رئيسية هى :

١ - الجهاز العصبى : وهو يعطى الأوامر على شكل سيالات عصبية إلى العضلات ذات العلاقة، فتستجيب تبعاً لذلك بانقباضها أو انبساطها. ويخرج من كل خلية عصبية ليفة عصبية ذات محور وسطى طويل يدخل مع مئات

المحاور إلى داخل العضلة، حيث يتفرع إلى تفرعات نهائية قد تصل إلى الألفين، بحيث يصبح لكل لييفة عضلية لييفة عصبية. وتنتهي اللييفة العصبية فى اللييفة العضلية بصفيحة حركية تشبه القطب الكهربائي وهى تقوم بنقل التأثيرات العصبية من اللييفة العصبية إلى ساركوبلازم اللييفة العضلية فتحدث رجفة عضلية. وتستجيب جميع الألياف العضلية للتأثير العصبى كوحدة واحدة. وتعتمد درجة القوة الناتجة عن انقباض العضلة على عدد الألياف العضلية التى استجابت للتأثير العصبى.

١- الجهاز الهيكلي: وهو يشكل مكاناً مناسباً لاتصال العضلات بالعظام. وللمفاصل دور هام فى حركة أجزاء الجسم المختلفة.

٢- العضلات: وهى المسؤولة عن الحركة كالمد والثنى والإبعاد والتقريب والدوران. كما يطلق على العضلات أسماء تتناسب وخصائصها المتنوعة. فمنها ما يسمى حسب شكلها أو حسب حجمها أو حسب موضعها أو حسب وظيفتها.

التحفيز العصبى للعضلات

تكون الألياف العضلية أثناء السكون فى حالة استقطاب Polarization، أي أن الجهة الخارجية لغشاء اللييفة العضلية مشحونة بشحنة موجبة بالنسبة لداخل الغشاء، وذلك نظراً لوجود فرق فى الجهد الكهربى بين خارج وداخل الغشاء الليفى العضلى. ويرجع وجود الفرق فى الجهد إلى الفرق فى تركيز الأيونات بين خارج وداخل الغشاء الليفى العضلى. وتنقبض العضلة الإرادية حين وصول السيالات العصبية عن طريق الخلايا العصبية الحركية الآتية من المخ والحبل الشوكى. إذ أن نهاية المحور العصبى للخلية العصبية تتفرع لتكون ما يعرف بالتفرعات الانتهائية Terminal Arborization. وينتهى كل تفرع من تلك بعدة حوصلات دقيقة على شكل عناقيد تسمى حوصلات تشابكية Synaptic Vesicles.

وهي تختزن مواد كيميائية تسمى بالنواقل التشابكية Synaptic Transmitters. وهكذا تلتصق نهايات التشعبات الطرفية العصبية التصاقا محكماً بالليفة العضلية لكنها تبقى دائماً خارج الغشاء الليفي العضلي. وبناءً على ذلك فإن وصول السيال العصبي – عبر المحور العصبي – يؤثر على الحوصلات التشابكية، فتفرز محتواها من المواد الناقلة (الأستيل كولين Acetyl Choline) التي لا تلبث أن تسبح بدورها في الفراغ الموجود بينها وتصبح في تماس مع الليفة العضلية الإرادية. وبالتالي تسبب تلاشي فرق الجهد على غشاء الليفة العصبية وانعكاسه، بمعنى أن داخل الغشاء الليفي العضلي يصبح موجباً بالنسبة لخارجه وذلك لزيادة نفاذية غشاء الليفة العضلية لأيونات الصوديوم فتدخل بسرعة إلى داخل غشاء الليفة العضلية. وهذا يؤدي إلى انقباض العضلة. وعندئذ يوصف غشاء الليفة العضلية بحالة اللا استقطاب Depolarization. إلا أن فرق الجهد على غشاء الليفة يعود إلى وضعه الطبيعي بعد جزء ضئيل من الثانية وذلك بفعل إنزيم الكولين استيريز Cholinesterase الذي يتوفر وجوده في نقاط الاتصال العصبي العضلي والذي يعمل على تحطيم الاستيل كولين فيحوله إلى كولين وحامض خليك. وبالتالي يبطل عمل الاستيل كولين وتعود نفاذية غشاء الليفة العضلية إلى وضعها الطبيعي في حالة الراحة وتكون عندئذٍ مهيأة للاستجابة للحفز العصبي مرة أخرى.

آلية انقباض العضلات

وضع عالم الأحياء الانجليزي هكسلي فرضاً لتفسير آلية انقباض العضلة المخططة، يدعى فرض الخيوط المنزلقة. ويعتمد هذا الفرض على التركيب المجهري الدقيق لألياف العضلة. إذ أن كل ليفة عضلية تتكون من نوعين من الخيوط البروتينية: الأولى خيوط رفيعة تدعى بالخيوط الأكتينية Actin، والثانية خيوط غليظة تدعى بالخيوط الميوسينية Myosin (شكل ٤٥). وبعد مقارنته

لليفة عضلية فى حالة انقباض بأخرى فى حالة الراحة استنتج أن الخيوط البروتينية المكونة للعضلة (الأكتين والميوسين) تنزلق الواحدة فوق الأخرى لتسبب انقباض العضلة. إلا أن هذا الفرض لا يستطيع تفسير آلية انقباض العضلات الملساء وذلك لاختلاف ترتيب الخيوط البروتينية المكونة لألياف العضلات الملساء عن ترتيب نظائرها فى العضلات الإرادية، علاوة على أن بعض التقارير العلمية الحديثة تشير إلى أن الخيوط البروتينية فى ألياف العضلات الملساء تتكون من نوع واحد يشبه إلى حد كبير الخيوط الأكتينية للعضلات الإرادية.

أما بالنسبة لعمل العضلات الهيكلية من الناحية المورفولوچية فإن هذه العضلات إما قابضة (مقربة) أو باسطة (مبعدة)، وعمل العضلة يكون باتجاه مغاير أو مضاد للعضلة الأخرى، أى أنه إذا كانت العضلة الأولى تقبض أو تثنى المفصل أو تقرب العظمين فإن العضلة الأخرى تعمل على انبساط المفصل أو إبعاد العظمين وهكذا.

ولقد وجد أنه إذا كانت انقباضات العضلة سريعة ومتتالية فإن الدم لا يستطيع نقل الأكسجين بالسرعة الكافية ليفى باحتياجات العضلة كى تقوم بعملية التنفس وانتاج الطاقة. ولذا تلجأ العضلة إلى تحليل محتواها من الجليكوجين إلى جلوكوز. وهذا الأخير لا يلبث أن يتأكسد بطريقة التنفس اللاهوائى لإنتاج طاقة تعطى العضلة فرصة أكبر للعمل. ولكن هذه العملية لا تستمر مدة طويلة. إذ أن الانسان سرعان ما يشعر بالتعب أو الإجهاد Fatigue، وذلك نتيجة لتراكم حامض اللاكتيك فى العضلة. مما يضطر عندها الشخص للتوقف عن الحركة حتى تصل كمية كافية من الأكسجين لتقوم بعملية التنفس الهوائى الذى ينتج طاقة كبيرة جداً إذا ما قورنت بالطاقة الناتجة عن عملية التنفس اللاهوائى.

الفصل الرابع عشر
التكاثـــــــــــــر

Reproduction

الفصل الرابع عشر

التكـــــاثر

مفهوم التكاثر

التكاثر Reproduction هو العملية التى يحافظ من خلالها الكائن الحى على نوعه بإنتاج أفراد من نفس هذا النوع. وفى الحيوانات الراقية والانسان تتخصص بعض الخلايا لأداء عملية التكاثر وتسمى الخلايا التناسلية أو الأمشاج Gamets. وهى عبارة عن نوعين؛ خلايا تناسلية ذكرية تسمى حيوانات منوية Sperms وخلايا تناسلية أنثوية تسمى بويضات Ova. وتنتج هذه الخلايا التناسلية من أعضاء تسمى المناسل Gonads. والمناسل إما خصيتان فى حالة الذكر أو مبيضان فى حالة الأنثى.

الجهاز التناسلى الذكرى *Male Reproductive System*

يتركب الجهاز التناسلى الذكرى (شكل ٥٠) من الأعضاء التالية:

١ ـ الخصيتان *Testes*

الخصيتان هما غدتان بيضاويتا الشكل، تقعان خارج الجسم بداخل كيس خاص يسمى كيس الصفن Scrotum. ويعمل هذا الكيس على حماية الخصيتين وتوفير درجة الحرارة الملائمة لانتاج الحيوانات المنوية، لذلك فهو يتمدد ويتقلص حسب حرارة الجو. وتخرج الخصيتان من داخل جسم الجنين

قبل ولادته بشهرين. وإذا ظلتا داخل التجويف البطنى فإن الانسان يصاب بالعقم لعدم توافر درجة الحرارة الملائمة لانتاج الحيوانات المنوية. وتتركب كل خصية من أنيبوبات دقيقة تلتف على بعضها وتسمى الأنيبوبات المنوية Seminiferous Tubules. وكلها تصب فى فراغ يسمى Rete Testis. ووظيفة الأنيبوبات المنوية انتاج الحيوانات المنوية. ويمتلىء الفراغ بين الأنيبوبات المنوية بخلايا بينية Interstitial Cells تسمى بخلايا ليدج Leydig Cells، وتقوم بإفراز الهرمون الذكرى تستوستيرون Testosterone المسئول عن إظهار الصفات الجنسية الذكرية الثانوية.

ويبدأ تكوين الحيوانات المنوية فى جميع الأنيبوبات المنوية أثناء فترة البلوغ. ويتم ذلك بتأثير الهرمون المحفز للحوصلة FSH الذى يفرز من الفص الأمامى للغدة. ويحتوى كل سم٣ واحد من السائل المنوى على ١٠٠ مليون حيوان منوى. وإذا قل عددها عن ٢٠ مليون/سم٣ من السائل المنوى يحدث العقم. أما إفراز الهرمون الذكرى تستوستيرون Testosterone فيكون تحت تأثير الهرمون المحفز للخلايا البينية Interstitial Cell-Stimulating Hormone (ICSH) والذى يسمى أحياناً بالهرمون المحفز لتكوين الجسم الأصفر Luteinizing Hormone (LH).

٢ـ البربخ *Epididymis*

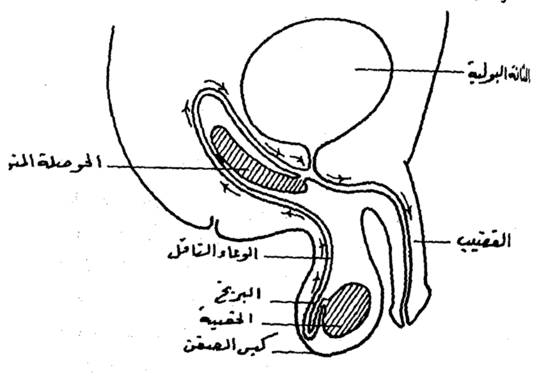
البربخ هو قناة شديدة الالتواء تتصل بقاعدة الخصية. وهى تعتبر محل نضج وخزن الحيوانات المنوية قبل مرورها إلى الوعاء الناقل.

٣ ـ الوعاء الناقل *Vas Deferens*

الوعاء الناقل هو القناة التى تلى البربخ، ويحتوى على عضلات لا إرادية، مما يجعله يتحرك حركة دودية تعمل على نقل الحيوانات المنوية من البربخ إلى مجرى البول عند اتصاله بالمثانة البولية.

٤ ـ القضيب *Penis*

وهو عضو الجماع فى الذكر، ويعمل على توصيل الحيوانات المنوية إلى مهبل الأنثى عن طريق مجرى البول الذى يعمل فى الذكر كقناة بولية وتناسلية معاً.



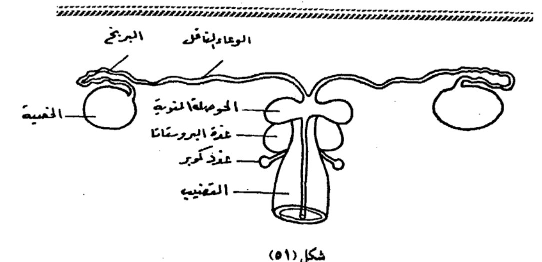
شكل (٥٠)

الجهاز التناسلى الذكرى للانسان

(الأسهم توضح مسار الحيوانات المنوية من موقع تكونها داخل الخصيتين إلى خارج الجسم)

٥ ـ الغدد الملحقة *Accessory Glands*

وهى ثلاث غـدد تصب افـرازها على الحيوانات المنوية خلال سيرها من الخصيتين إلى خارج الجسم (شكل ٥١) ويسمى المزيج بالسائل المنوى Semen . وهذه الغدد هى :



شكل (٥١)

الغدد الملحقة بالجهاز التناسلي الذكرى للانسان

أ ـ الحوصلة المنوية *Seminal Vesicle*

تتألف الحوصلة المنوية من كيسين يقعان عند نهاية الوعاء الناقل ويفتحان فى القضيب عند اتصاله بالمثانة البولية. وتفرز الحوصلة المنوية سائلا لبنياً قاعدياً يعمل على معادلة حموضة الحيوانات المنوية الآتية من الخصيتين ويسهل حركتها، ويساهم فى تغذيتها لاحتوائه على سكر الفركتوز. ويتم افراز الحوصلة المنوية من خلال قناة قاذفة Ejaculatory Duct .

ب ـ غدة البروستاتا *Prostate Gland*

غدة البروستاتا هى غدة كبيرة الحجم نسبياً، ويبلغ قطرها حوالى ٤ سم، وتحيط بعنق المثانة كالحلقة. وتفرز سائلا لزجاً يشبه افراز الحوصلة المنوية فى كونه قاعدياً يعمل على معادلة الحموضة التى قد تحدث من جراء مرور البول فى القناة البولية. ولافراز البروستاتا قدرة على امتصاص غاز ثانى أكسيد الكربون الذى ينبعث نتيجة لنشاط الحيوانات المنوية. إذ أن تراكم هذا الغاز يقلل من نشاط الحيوانات المنوية. ويصل افراز البروستاتا إلى مجرى البول عن طريق ثقوب صغيرة كثيرة العدد تفتح فيه.

جـ - غدتا كوبر *Cowpor's Glands*

غدتا كوبر هما تركيبان صغيران بحجم حبتى بازلاء ولونهما أصفر ويقعان أسفل البروستاتا. وافراز هاتين الغدتين قاعدى ويحدث أثناء التهيج أو الجماع الجنسى، ويعمل على معادلة الحامض الذى قد يوجد فى مجرى البول للذكر أو فى مهبل الأنثى.

الجهاز التناسلى الأنثوى *Female Reproductive System*

يتركب الجهاز التناسلى الأنثوى فى الانسان (شكلا ٥٢و ٥٣) من الأعضاء التالية:

١ - المبيضان *Ovaries*

المبيضان جسمان صغيران، كل منهما يبدو بشكل وحجم حبة اللوز. ويقعان فى الجهة الظهرية من التجويف البطنى. ووظيفة المبيضين الأساسية هى انتاج البويضات Ova، بالإضافة إلى افراز الهرمونات الجنسية الأنثوية (الإستروجينات) المسئولة عن اظهار الصفات الجنسية الأنثوية الثانوية، وافراز هرمون الجسم الأصفر الذى يمنع تكون بويضات جديدة ويهىء الرحم لاستقبال الجنين فى حالة حدوث الإخصاب.

٢ - قناة البيض أو قناة فالوب *Oviduct or Fallopian Tube*

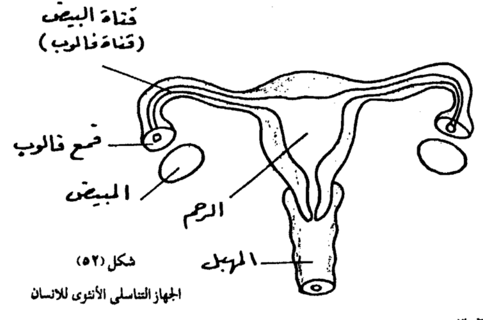
هى قناة رفيعة يصل طولها إلى حوالى ١٠ سم. وهى كثيرة التعاريج الداخلية ومبطنة من الداخل بغشاء مخاطى وأهداب كثيرة ولها قمع يلاصق المبيض ومن خلاله تلتقط البويضة عند سقوطها من المبيض فتمر فى قناة البيض حيث يحدث الإخصاب فى ثلثها القريب من القمع.

٣ ـ الرحم *Uterus*

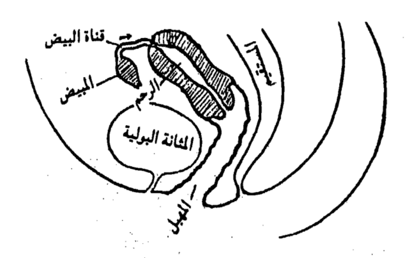
هو عضو عضلى أجوف. يتألف من قسمين علوى يتصل بقناتى البيض يسمى الجسم وسفلى إلى المهبل ويسمى العنق. ومن خلال هذا العنق تدخل الحيوانات المنوية لكى تخصب البويضة. وجدران الرحم سميكة وعضلية ومبطنة بغشاء مخاطى يسمى بطانة الرحم Endometrium. وتستعد بطانة الرحم كل شهر لاستقبال البويضة المخصبة. فإن حدث إخصاب يتهيأ الرحم لإنبات البويضة ونمو الجنين، وإن لم يحدث تتحطم بطانة الرحم ويسيل الدم فيما يسمى بالحيض أو الطمث Menstruation.

٤ ـ المهبل *Vagina*

المهبل قناة عضلية ليفية مطاطية. وعضلاته ملساء، بعضها طولية وبعضها دائرية. وهو يوصل بين الفتحة التناسلية الخارجية (الفرج) والرحم، وعند الأنثى العذراء تقفل فوهة المهبل كلياً أو جزئياً بغشاء البكارة Hymen. وتحتوى بطانة المهبل على خلايا تفرز عند الجماع سائلا يحتوى على حامض اللاكتيك الذى ينتج عن تحلل الجليكوجين. ويمنع هذا السائل تكاثر الجراثيم فى المهبل.



شكل (٥٢)
الجهاز التناسلى الأنثوى للانسان



شكل (٥٣)

مقطع طولى فى الجهاز التناسلى الأنثوى

٥ ـ الأعضاء الجنسية الثانوية الأنثوية *Female Secondary Sex Organs*:

أ ـ الفرج *Vulva* : وهو الفتحة التناسلية الخارجية المثلثة الشكل والتى توصل إلى المهبل.

ب ـ جبل الزهرة *Mons Veneris*: وهو جزء دهنى تحت الجلد على الناحية الأمامية للعانة.

جـ ـ الشفران الكبيران *Labia Majora*: وهما ثنيتان جلديتان على جانبى الفرج.

د ـ الشفران الصغيران *Labia Minora*: وهما ثنيتان جلديتان أسفل الشفرين الكبيرين وتحيطان بالفرج من الداخل. ويلتقيان من الأمام فيكونان ما يسمى بقلنسوة البظر Preduce of Clitoris.

هـ ـ البظر *Clitoris* : وهو عضو صغير بحجم حبة الحمص، شديد الحساسية ويلعب دوراً أساسياً فى التهييج الجنسى ويقع فى أعلى فتحة الفرج.

دورة المبيض *Ovarian Cycle*

يحتوى المبيضان فى الفتاة غير البالغة على حوصلات غير ناضجة تسمى

الحوصلات الأولية Primary Follicles، بكل منها بويضة غير ناضجة. وعند عمر الثانية عشر تصل الفتاة إلى البلوغ. فتنضج هذه الحوصلات والبويضات التى فيها بمعدل واحدة كل ٢٨ ± ٢ يوماً. ويطلق على الحوصلة الناضجة التى تحتوى على بويضة ناضجة اسم حوصلة جراف الناضجة Mature Graafian Follicle. وفى الغالب لا ينضج سوى حوصلة واحدة من كل ألف حوصلة بينما تتحلل باقى الحوصلات الأولية وتختفى. ويطلق عليها آنذاك اسم الحوصلات المتحللة Atretic Follicles. وخلال أربعين سنة بعد البلوغ تنضج بويضة واحدة كل شهر وتخرج من المبيض. وعندما تصل المرأة إلى منتصف أو آخر الأربعينيات (سن اليأس Menopause) تتوقف عملية خروج البويضات الناضجة من المبيض. ويطلق على عملية خروج البويضة من المبيض التبويض Ovulation. ويرافق هذه العملية عدة تغيرات يطلق عليها الدورة الشهرية أو الطمث أو الحيض Menstrual Cycle، وذلك لأنها تحدث مرة كل شهر تقريباً وتنفجر الحوصلة الناضجة وتقذف بالبويضة الناضجة فى تجويف البطن فى اليوم الرابع عشر من بداية الدورة الشهرية. وتلتقط هذه البويضة بواسطة قمع فالوب الذى فى نهاية قناة البيض. وبعد عملية التبويض مباشرة تمتلىء الحوصلة التى انفجرت بالدم ويتكون ما يطلق عليه الجسم النزيفى Corpus Haemorrhagicum الذى سرعان ما يتحول إلى الجسم الأصفر Corpus Luteum نتيجة تحول خلاياه إلى خلايا صفراء غنية بالليبيدات تفرز هرمونات البروجيستيرون والاستروجينات.

فإذا لم يحدث إخصاب مرت البويضة من قمع فالوب الذى التقطها إلى قناة البيض ومنها إلى الرحم ومنه إلى المهبل ثم إلى الخارج مع قليل من الدم، ويبدأ الجسم الأصفر فى الضمور والاضمحلال فى اليوم الرابع والعشرين من الدورة ويحل محله نسيج ليفى يسمى الجسم الأبيض Corpus Albicans. لكن إذا حدث إخصاب ـ ويتم ذلك فى ثلث قناة البيض القريب من قمع

فالوب ـ يبقى الجسم الأصفر نشطاً وتنقطع الدورة الشهرية بعد ذلك فلا تحدث طيلة فترة الحمل ولا تبدأ من جديد إلا بعد الولادة.

الدورة الشهرية *Menstrual Cycle*

تعرف الدورة الشهرية بأنها سلسلة أحداث متتابعة تتكرر فى أنثى الانسان والرئيسيات فقط، مرة كل شهر تقريباً (٢٨ ± ٢ يوماً)، ويرافقها تغيرات تحدث فى المبيض تسمى دورة المبيض Ovarian Cycle وتغيرات أخرى تحدث فى الرحم وتسمى دورة الرحم Uterine Cycle. وتشتق لفظة Menstrual من الكلمة اللاتينية Mensis أى شهر. ويبدأ ظهور الدورة عندما تصل الفتاة إلى طور البلوغ. وتظل تتكرر حتى تصل المرأة إلى سن اليأس (٤٥ - ٥٠ سنة تقريباً). ولا تنقطع الدورة طوال هذه الفترة من البلوغ حتى سن اليأس إلا أثناء فترة الحمل.

وتنقسم الدورة الشهرية إلى ثلاث مراحل هامة (شكل ٥٤) هى :

١ ـ مرحلة الحيض *Menstrual Phase* (أو مرحلة التحطيم *Destructive Phase*)

وهى الفترة التى ينزف فيها الدم وتبدأ فى اليوم الأول للدورة وتنتهى فى اليوم الخامس منها. وفى هذه المرحلة تكون بطانة الرحم Endometrium قد ازداد سمكها وكثرت أوعيتها الدموية واكتظت بالدم. وعند هذا الحد تتحطم بطانة الرحم وينزف ما بها من دم وتنسلخ طبقتها السطحية وتطرد مع البويضة غير المخصبة إلى الخارج. وفى نهاية هذه المرحلة يكون معدل الهرمونات الجنسية (البروجستيرون والاستروجينات) فى الدم منخفضاً جداً. ويدفع انخفاض هذه الهرمونات الفص الأمامى للغدة النخامية لكى يفرز بكميات كبيرة الهرمونات المحفزة للمناسل Gonadotrophins والتى تتمثل فى الهرمون المحفز للحوصلات FSH والهرمون المحفز لتكوين الجسم الأصفر LH. وتسيطر على هذه الهرمونات مراكز عصبية افرازية فى منطقة تحت السرير البصرى الذى يفرز

هرموناً يحفز افراز هذين الهرمونين وهو الهرمون محرر الهرمونات المحفزة للمناسل Gonadotrophin Releasing Hormone GnRH ويقوم هرمونا FSH و LH بالعمل على نضج البويضات فى المبيض.

٢ ـ مرحلة التعمير *Proliferative Phase*

وهى الفترة التى تلى مرحلة الحيض، وتمتد من اليوم الخامس إلى اليوم الرابع عشر من الدورة. وخلال هذه المرحلة يعمل هرمون FSH على تحفيز خلايا الحوصلات لكى تفرز الاستروچينات تدريجياً. وعندما يرتفع معدل هذه الهرمونات فى الدم تنمو بطانة الرحم التى كانت قد تحطمت فى المرحلة السابقة، ويزداد سمكها تدريجياً. كما تزيد غدد الرحم طولا ، ولكنها لا تبدأ فى الافراز. ولما كان افراز هرمون FSH يتأثر بمعدل الاستروچينات فى الدم. فإن كمية هذا الهرمون تقل تدريجياً كلما ازدادت كمية الاستروجينات فى الدم. وقبل نهاية هذه المرحلة (اليوم العاشر) يكتمل نمو حوصلة جراف والبيضة التى بها. وقبيل عملية التبويض بفترة قصيرة يزداد افراز هرمون LH ويسبب هذا الهرمون حدوث عملية التبويض فى اليوم الرابع عشر وتحويل الحوصلة التى انفجرت وخرجت منها البويضة إلى ما يطلق عليه الجسم الأصفر الذى يتأهب لافراز هرموناته الجنسية البروجستيرون والاستروجينات. فيقوم البروجستيرون بإعداد الرحم لاستقبال الجنين أما الاستروجينات فهى المسئولة عن نمو الأعضاء التناسلية الأنثوية كالرحم والمبيض والمهبل وعن الصفات الجنسية الثانوية مثل نمو الثديين وتراكم الدهن وتوزيع الشعر فى جسم الأنثى.

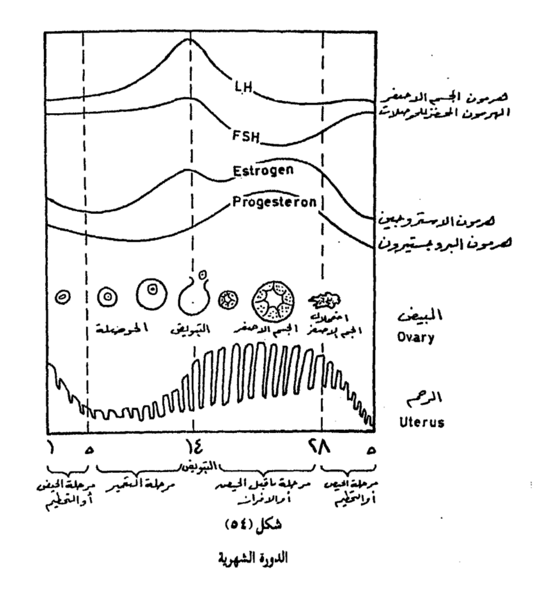
٣ ـ مرحلة ما قبل الحيض *Premenstrual Phase* أو مرحلـــــة الإفــــــراز *Secretory Phase*

وهى الفترة التى تلى مرحلة التعمير، وتمتد من اليوم الرابع عشر حتى اليوم الثامن والعشرين من الدورة. وفى هذه المرحلة يكون قد تم تكوين الجسم الأصفر فى المبيض محل حوصلة جراف التى انفجرت وخرجت منها البويضة،

ويبدأ فى افراز هرموناته الجنسية البروجستيرون والاستروجينات بكميات كبيرة ومتدرجة مما يجعل معدلاتها تزداد تدريجياً فى الدم. وبتأثير هذه الهرمونات يستمر نمو بطانة الرحم ويزداد سمكها وتكثر فيها الأوعية الدموية، كما تتعرج غدد الرحم ويبدأ نشاطها الافرازى. ونتيجة لارتفاع معدلات هرمونات البروجستيرون والاستروجينات ينخفض معدلا هرمونى LH, FSH فى الدم. وتعتبر هذه المرحلة هى مرحلة تهيأ الرحم لاستقبال البيضة المخصبة.

فإذا لم يحدث الإخصاب وبالتالى لم يحدث الحمل يبدأ الجسم الأصفر في الاضمحلال فى اليوم الرابع والعشرين من الدورة ليحل محله نسيج ليفى يسمى الجسم الأبيض، وينخفض تبعاً لذلك معدل الهرمونات الجنسية التى كان يفرزها الجسم الأصفر فى الدم. ولما كان بقاء بطانة الرحم يعتمد على وجود هذه الهرمونات الجنسية فينتج عن ذلك تحطم هذه البطانة وانسلاخ طبقتها السطحية وتدفق الحيض. وبذلك تعود الدورة إلى المرحلة الأولى أى مرحلة الحيض أو التحطيم مرة أخرى وتلفظ البيضة غير المخصبة إلى الخارج مع دم الحيض وبقايا النسيج المنسلخ.

أما إذا حدث الإخصاب فإن البيضة المخصبة تنغرس فى جدار الرحم، ويبقى الجسم الأصفر نشطاً ويستمر فى افراز هرموناته الجنسية (خاصة البروجستيرون) بكمية أكبر خلال الثلاثة أشهر الأولى من الحمل فتعمل على المحافظة على بطانة الرحم واستقرار البيضة المخصبة فى جداره. كما يمنع هرمون البروجستيرون عملية التبويض طوال فترة الحمل. ولهذا تتوقف الدورة الشهرية طوال هذه الفترة ولا تبدأ إلا بعد الولادة. وبعد الأشهر الثلاثة الأولى تبدأ المشيمة فى افراز هذه الهرمونات وتحل محل الجسم الأصفر فى القيام بهذه الوظيفة وتصبح هى المصدر الرئيسى لانتاج هذه الهرمونات.



شكل (٥٤)

الدورة الشهرية

دورة الشبق *Estrous Cycle*

تعرف دورة الشبق بأنها سلسلة أحداث متتابعة تحدث فى إناث الثدييات غير الانسان والرئيسيات فى فترات محددة من السنة فقط تزيد فيها الرغبة الجنسية لدى تلك الإناث، ولا تتقبل ذكورها إلا فى تلك الفترات من السنة. كما تحدث تغيرات لبطانة الرحم أيضاً لكنها تبدأ وتنتهى بلا نزيف، أى لا يوجد حيض (طمث).

في عملية الإخصاب يتحد حيوان منوى واحد مع بويضة ناضجة واحدة لتكوين ما يعرف بالبويضة المخصبة أو الزيجوت. وباتحاد نواتيهما معاً في نواة واحدة يستعاد العدد المزدوج للكروموسومات الأصلية. وعندما تخرج البويضة من الحوصلة المنفجرة يلتقطها قمع فالوب ثم تمر إلى قناة البيض. عندها لابد من وجود حيوانات منوية كثيرة لإتمام عملية الإخصاب، لأن عملية الاتحاد بين البويضة والحيوان المنوى هي عملية عشوائية. ولهذا يقذف الذكر حيوانات منوية كثيرة جداً تبلغ حوالى ٣٠٠ - ٤٠٠ مليون حيوان منوى، يهلك معظمها قبل أن يصل إلى البويضة، لأنها تسير جميعاً في اتجاه معاكس لحركة الأهداب المبطنة لقناة البيض. ولابد لحيوان منوى واحد أن يخصب البويضة خلال ٢٤ ساعة. وهي المدة التي تبقى فيها البويضة بحيويتها في حين أن الحيوان المنوى يحتفظ بحيويته حوالى ٤٨ ساعة. ويحدث الإخصاب عادة في ثلث قناة البيض القريب من القمع. وتدخل البويضة المخصبة الرحم بعد ٣-٥ أيام من الإخصاب، وتلتصق بجدار الرحم. وتبدأ عملية الحمل ونمو الجنين التي تستغرق مدة تسعة أشهر تقريباً.

وأثناء الحمل يفرز هرمونا الاستروجين والبروجستيرون من المشيمة فيمنعا افراز هرمون البرولاكتين الذى يمنع بدوره افراز اللبن. لكن بعد الولادة يهبط معدلا الاستروجين والبروجستيرون فجأة بسبب طرد المشيمة من الجسم، فيعود هرمون البرولاكتين للافراز ويعمل على افراز اللبن.

ويحدث نمو الثديين بعد الولادة بفعل تأثير الهرمونات الجنسية. إذ أن هرمون البروجستيرون يعمل على نمو قنوات اللبن في الثديين، بينما يشترك هرمون الاستروجين في التأثير على نمو الفصوص والحوصلات الثديية. أما هرمون البرولاكتين فيلعب دوراً في افراز اللبن بشرط وجود الإنسولين

والهيدروكورتيزون. كما أن الهرمون المولد للبن الذى تفرزه المشيمة (PLH) يعمل على تهيئة الثديين للقيام بوظيفة الإرضاع.

وتعمل عملية مص الثديين على إرسال التأثيرات العصبية عبر النخاع الشوكى إلى الجهاز العصبى المركزى وخاصة منطقة تحت السرير البصرى. فتتنبه وتعمل على تنشيط افراز البرولاكتين. ويتكون منعكس عصبى هرمونى يحافظ على افراز اللبن. وجدير بالذكر أنه يمكن إيقاف الرضاعة أو افراز اللبن بمنع هذا المنعكس العصبى الهرمونى، وذلك بمنع مص الحلمة أو بإعطاء الأم هرمون الاستروجين أو البروجستيرون. وحتى تستمر حوصلات الثديين فى صنع اللبن. فلابد من إخراج هذا اللبن خارج الثديين. ويتم ذلك بواسطة هرمونى الأوكسيتونين Oxytonin والفازوبريسين Vasopressin وأيونات الكالسيوم.

ويصاحب عملية الرضاعة توقف الطمث Amenorrhea لفترة أربعة شهور تقريباً، وذلك بفعل تأثير هرمون البرولاكتين الذى يضاد الجونادوتروفين. لكن هرمون FSH يمكن أن يفرز فى أى وقت. وبالتالى يحدث التبويض أثناء فترة الرضاعة ويمكن للحمل أن يحدث.

التوائم *Twining*

التوائم نوعان هما :

أ ـ **توائم متطابقة** *Identical Twins*: وتنتج من بويضة واحدة خصبت بحيوان منوى واحد. وعند أول انقسام لهذه البويضة تنفصل إلى خليتين أو بويضتين، تنمو كل منهما لتكون جنين مستقل. ولكل جنين كيس أمنيونى خاص به، لكن لهما كيس كوريونى واحد. ولهذا يتصل التوأمان بمشيمة واحدة، ويتشابهان فى صفاتهما الوراثية وفى مجاميع الدم

وبصمات الأصابع ويكون الجنس واحداً؛ إما ذكوراً أو إناثاً لدرجة يصعب التفريق بينهما.

ب- توائم أخوية *Fraternal Twins* : وتنتج من بويضتين نضجتا في آن واحد وتخصب كل منهما بحيوان منوى مستقل. ويتصل كل جنين بمشيمة خاصة به وأغشية جنينية خاصة به أيضاً. وقد تكون هذه التوائم متشابهة أو مختلفة في الجنس والشكل الخارجي والتركيب الوراثى ومجاميع الدم، ولكنها قطعاً مختلفة في بصمات الأصابع. أما العلاقة بينهما فهي لا تزيد عن علاقة أشقاء ولدوا في فترات متقاربة جداً من نفس الأبوين، إلا أنهما يشتركان في ظروف حمل واحد في رحم الأم.

من المسئول عن تحديد جنس الجنين؟

يتحدد جنس الجنين المنتظر عند الإخصاب. وفي حالة الانسان تحتوى خلية الحيوان المنوى على ٤٦ كروموسوماً هي ٢٢ + X و ٢٢ + Y. وتحتوى خلية البويضة على ٤٦ كروموسوماً هي ٢٢ + X و ٢٢ + X. ويسمى زوج الكروموسومات المختلف (XY) أو المتشابه (XX) بالكروموسوم الجنسي. إذن ففي الأنثى تحمل كل بويضة تامة النمو كروموسوماً جنسياً هو XX دائماً، ويصبح تركيبها الكروموسومى (٢٢ + X)، أما الحيوانات المنوية فإما تحوى كروموسوم X ويصبح تركيبها (٢٢ + X) أو تحوى كروموسوم Y ويصبح تركيبها (٢٢ + Y). ويمكن إذا اتحدت بويضة تحوى الكروموسوم X بحيوان منوى يحوى كروموسوم X يكون المولود ٢٢ زوجاً + XX أى أنثى. وإذا اتحدت بويضة X بحيوان منوى يحمل كروموسوم (Y) يكون المولود ٢٢ زوجاً + XY أى ذكر. وبناءً على هذا فإن الرجل وليس المرأة هو الذى يحدد جنس الجنين.

اختلالات وراثية فى الجنين

قد تحدث خلال عملية الاخصاب بعض الاختلالات الوراثية فى زوج الكروموسومات الجنسية، فيزيد عدد الكروموسومات عن ٤٦ أو يقل. فمثلا يحدث شذوذ فى توزيع الكروموسومات مع وجود كروموسوم جنسى زائد من نوع Y فيصبح عدد الكروموسومات ٤٦ + Y أى ٤٧ . وبسبب هذا يولد أطفال ذوو ضعف عقلى وبلاهة وعته وعينين مائلتين مثل عينى أفراد العرق المنغولى. وتعرف هذه الحالة بالمنغولية Mongolism. وهى توجد بنسبة طفل لكل ألف مولود وخاصة عندما تكون الأم كبيرة فى السن عند أول حمل لها (٣٥-٤٠ سنة). ويطلق على الأعراض المرضية لهذه الحالة مرض داون Down's Disease. وأحيانًا يكون المولود لديه كروموسومان من نوع X وواحد من نوع Y فيصبح محتويًا على ٤٤ + XXY. وهو بذا يمتلك XX فيكون أنثى ويمتلك Y فيكون ذكرًا !! ويسمى هذا بمرض كلاين فلتر Kline Filter Disease. وأحيانًا يغيب وجود الكروموسوم Y ولا يوجد إلا X فقط فيحتوى المولود على ٤٤ كروموسوم + X ويصبح غير مكتمل الجنس. وتسمى هذه الحالة بمرض تيرنر Turner's Disease.

الفصل الخامس عشر
الفسيولوچيا العملية
Practical Physiology

الفصل الخامس عشر

الفسيولوچيا العملية

أولا ـ الكربوهيدرات *Carbohydrates*

١ـ اختبار موليش *Molish Test*

اختبار موليش من أهم التفاعلات لجميع السكاكر والمجموعات السكرية فى مركبات معقدة مثل البروتينات السكرية والليبيدات السكرية. وهو يستخدم للكشف عن وجودها. فعندما تتفاعل السكاكر مع حامض الكبريتيك المركز يتكون مركب حلقى يسمى فيرفيورال Furfural فى حالة السكريات الخماسية و 5–هيدروكسى ميثيل فيرفيورال 5-Hydroxy Methyl Furfural فى حالة السكريات السداسية. وتتكثف هذه النواتج مع α–نافثول α-Naphthol فتعطى مركبات بنفسجية اللون. ويتأكسد المركب الملون الناتج فى وجود حامض الكبريتيك. ويتكون ناتج ذو لون بنفسجى على هيئة حلقة فى السطح الفاصل بين السائلين.

ويلزم لإجراء هذا الاختبار وجود المواد الآتية :

- محلول جلوكوز ١–٢ ٪
- محلول كحولى لـ α ـ نافثول ٠,٢ ٪
- حامض كبريتيك مركز

الطريقة:

١ ـ ضع ٢ مل من محلول الجلوكوز فى أنبوبة اختبار جافة.
٢ ـ ثم أضف إليها ٣-٤ قطرات من محلول α ـ نافثول. ثم رج الأنبوبة لمزج هذه المواد.
٣ ـ ثم أضف بحذر وعلى جدار الأنبوبة حوالى ٢ مل من حامض الكبريتيك المركز بحيث تتكون طبقة منفصلة عن محلول الجلوكوز.

النتيجة:

بعد بضع دقائق تتكون حلقة بنفسجية اللون عند السطح الفاصل بين الطبقتين ويدل ذلك على وجود السكر فى المحلول.

٢ ـ اختبار فهلنج *Fehling Test*

يستخدم اختبار فهلنج للكشف عن خاصية الاختزال للسكريات الأحادية الألدهيدية والكيتونية. ويتلخص اختبار فهلنج فى امكانية اختزال السكريات الأحادية (أو السكريات الثنائية المختزلة) لأيون النحاس فى وسط قلوى.

ويلزم لإجراء هذا الاختبار وجود المواد الأتية:
ـ محلول جلوكوز ١-٢٪.
ـ كاشف فهلنج A الذى يتكون من ٣٥ جرام من كبريتات النحاس المائية $CuSO_4.5H_2O$ فى ٥٠٠ مل ماء. ويحفظ المحلول فى مكان بارد.
ـ كاشف فهلنج B الذى يتكون بإذابة ١٧٤ جرام من طرطرات الصوديوم والبوتاسيوم $K^+OOC\text{-}CHOH\text{-}CHOH\text{-}COO^-Na^+$ فى حوالى ٢٥٠ مل ماء. ثم يضاف إليه ٥٠ جرام من هيدروكسيد الصوديوم المذاب مسبقاً فى ١٠٠ مل ماء. وبعدها يكمل الحجم إلى ٥٠٠ مل ويحفظ المحلول فى مكان بارد.

وعند الاستعمال يمزج كاشفا فهلنج B, A بنسبة متساوية، والمزيج المتكون يطلق عليه كاشف فهلنج.

الطريقة :

١ـ ضع ٢ مل من محلول الجلوكوز فى أنبوبة اختبار جافة.
٢ـ أضف إليها ٢ مل من كاشف فهلنج. ثم رج الأنبوبة لمزج المخلوط.
٣ـ ضع الأنبوبة فى حمام مائي عند درجة الغليان لبضع دقائق.

النتيجة :

يظهر راسب أحمر من أكسيد النحاس Cu_2O.

٣ـ اختبار بنيديكت *Benedict Test*

هذا الاختبار أشد حساسية من تفاعل فهلنج. ويعتمد على مبدأ اختزال أيون النحاس (الثنائي). إلى أكسيد النحاس، أى أنه خاص بالسكريات المختزلة الأحادية منها والثنائية. ويفضل اختبار بنيديكت على اختبار فهلنج إذا كان المحلول السكرى منخفض التركيز كما فى حالة الكشف عن وجود السكر فى البول.

ويلزم لإجراء هذا الاختبار وجود المواد الآتية:
ـ محلول جلوكوز ١-٢٪.
ـ كاشف بنيديكت A الذى يتكون بإذابة ١٠٠ جرام من ملح سيترات الصوديوم Sodium Citrate الجافة فى ٦٠٠ مل من الماء الدافىء. ويضاف ٩٠ جرام من كربونات الصوديوم اللامائية أيضاً. ويسخن المحلول حتى تذوب الأملاح تماماً.
ـ كاشف بنيديكت B الذى يتكون بإذابة ١٧٥ جرام من كبريتات النحاس المائية $CuSo_4.5H_2O$ فى ١٠٠ مل ماء.

يمزج المحلولان B, A ويكمل الحجم إلى لتر ويحفظ الكاشف فى مكان بارد ويبقى صالحاً لمدة طويلة.

الطريقة :

ـ ضع ٥ مل من محلول بنيديكت فى أنبوبة اختبار. ثم أضف ١ مل من محلول الجلوكوز. ورج الأنبوبة. ثم ضعها لبضع دقائق فى حمام مائي عند درجة الغليان.

النتيجة:

يظهر راسب أحمر برتقالى أو أصفر محمر من أكسيد النحاس Cu_2O.

٤ ـ اختبار بارفويد ***Barfoed Test***

يميز هذا التفاعل بين السكريات الأحادية والسكريات الثنائية. وهو يعتمد على قدرة السكريات على الاختزال.

ويلزم لإجراء هذا الاختبار وجود المواد الآتية:

ـ محلول جلوكوز ١-٢٪

ـ كاشف بارفويد الذى يحضر بإذابة ٢٤ جرام من خلات النحاس $Cu(CH_3COO)_2$ فى ٤٥٠ مل من الماء الساخن، ويضاف إلى المزيج ٢٥ مل من محلول ٨,٥٪ حامض لاكتيك، ثم يرشح.

الطريقة:

ـ ضع فى كل من أنبوبتى اختبار ٣ مل من كاشف بارفويد. ثم أضف إلى إحداهما ١ مل من محلول الجلوكوز وإلى الثانية ١ مل من محلول أحد السكريات الثنائية المختزلة. ثم رج الأنبوبتين جيداً لمزج محتوياتهما.

ـ ضع الأنبوبتين فى حمام مائي يغلى.

النتيجة:

فى الأنبوبة الأولى يظهر راسب بعد ٥-٧ دقائق من بدء التسخين. وفى الأنبوبة الثانية يظهر راسب بعد ١٥ - ٢٠ دقيقة من بدء التسخين.

٥ ـ اختبار اليود *Iodine Test*

هذا الاختبار خاص بالنشا. لكنه سلبى مع السكريات الأحادية والثنائية ويعتمد على تفاعل أيونات اليود مع سلاسل جزىء النشا (الأميلوز) لتتكون معقدات ذات لون أزرق.

ويلزم لإجراء هذا الاختبار وجود المواد الآتية:

١ ـ محلول النشا ١ ٪.

٢ ـ محلول اليود الذى يحضر بإذابة ٢ جرام من أيوديد البوتاسيوم فى كمية من الماء. ثم يذاب أيضاً ١ جرام من اليود ويكمل الحجم إلى ١٠٠ مل.

الطريقة:

١ ـ ضع ٣ مل من محلول النشا فى أنبوبة اختبار.

٢ ـ أضف إليها قطرة من محلول اليود المحضر.

النتيجة:

يظهر لون أزرق غامق، يزول بالتسخين المعتدل، ويعود بالتبريد.

ثانياً ـ البروتينات *Proteins*

١ ـ تحضير محلول البروتين

يحضر محلول البروتين من عدة مصادر أهمها:

أ ـ محلول بروتين البيض (الألبومين)

يعزل بياض بيضة دجاج واحدة عن الصفار، ويذاب فى ١٨ مل من الماء المقطر، ثم يرشح المحلول خلال قطعة من الشاش مطوية إلى ٤ طبقات. ثم يحفظ المحلول الناتج فى الثلاجة لحين استعماله. وهو يستعمل لإجراء التفاعلات اللونية الخاصة بالبروتين والأحماض الأمينية ولإجراء عمليات ترسيب البروتين.

ب ـ محلول ألبيومينات اللبن

أضف إلى ٢٠٠ مل من اللبن الطازج حجم مماثل من محلول مشبع لكبريتات الأمونيوم. ثم امزج المادتين جيداً. ويترك المخلوط مدة ١٣ دقيقة. ثم رشحه باستعمال ورق ترشيح عادى.

٢ ـ تفاعل بيوريت *Biuret Reaction*

تفاعل بيوريت هو تفاعل لونى لجميع البروتينات. لكنه سلبى مع جميع الأحماض الأمينية الحرة. لذلك يستخدم فى معرفة وجود البروتين فى محلول ما. ويعتمد هذا التفاعل على أن البروتين يعطى مع محلول كبريتات النحاس فى وسط قلوى لوناً بنفسجياً يدل على وجود البروتين. ويعزى ظهور اللون البنفسجى لتفاعل أيون النحاس مع سلسلة الببتيد مكوناً معقداً بنفسجى اللون.

ويلزم لإجراء هذا التفاعل وجود المواد الآتية:
ـ محلول بروتين البيض.
ـ محلول هيدروكسيد الصوديوم ١٠ ٪
ـ محلول كبريتات النحاس ٢ ٪

الطريقة:

ـ ضع فى أنبوبة اختبار ٢ مل من محلول بروتين البيض، وضع فى أنبوبة اختبار ثانية ٢ مل من الماء المقطر.

ـ أضف لكل من الأنبوبتين ١ مل من محلول هيدروكسيد الصوديوم و ٥ - ٨ قطرات من محلول كبريتات النحاس.

ـ رج الأنبوبتين، وقارن بين لونيهما.

النتيجة:

فى الأنبوبة الأولى يظهر لون بنفسجى نتيجة لوجود البروتين. وفى الأنبوبة الثانية يبقى لون كبريتات النحاس الأزرق على ما هو عليه.

٣ ـ تفاعلات ترسيب البروتين

تؤثر عدة عوامل كيميائية وفيزيائية على خواص المركبات البروتينية، مما يؤدى إلى تغير تركيب الجزيئات الكبيرة لهذه المركبات. وأهم هذه العوامل هى أملاح المعادن القلوية والمذيبات العضوية والأحماض المعدنية والأحماض العضوية وأملاح المعادن الثقيلة والحرارة، وكلها تعمل على ترسيب البروتين.

أـ الترسيب بواسطة أملاح المعادن القلوية

تستطيع أملاح الأمونيوم المتعادلة وأملاح المعادن القلوية مثل $MgSO_4$ و $NaCl$ و $(NH_4)_2 SO_4$ وغيرها معادلة شحنات الجزيئات البروتينية فتمنع بذلك إحاطتها بجزيئات الماء. وهذا يدفع بها إلى التجمع ثم إلى الترسب.

ويلزم لإجراء هذه التفاعلات وجود المواد الآتية:

ـ محلول بياض البيض مضافاً إليه كلوريد الصوديوم.

ـ مسحوق كلوريد الصوديوم الناعم.

- مسحوق كبريتات الأمونيوم الناعم
- محلول كبريتات الأمونيوم المشبع
- مسحوق كبريتات الماغنسيوم الناعم
- حامض الخليك ١٪
- محلول هيدروكسيد الصوديوم ١٠٪
- محلول كبريتات النحاس ١٪

ب ـ الترسيب بواسطة كبريتات الأمونيوم

الطريقة:

١ ـ ضع ٣ مل من محلول بياض البيض من كل من أنبوبتى اختبار. ثم أضف إلى الأنبوبة الأولى مسحوق كلوريد الصوديوم وإلى الأنبوبة الثانية مسحوق كبريتات الماغنيسيوم حتى تحصل على المحلول المشبع. بعد حوالى ٦ دقائق يلاحظ ظهور راسب فى كل من الأنبوبتين. يعزى هذا الراسب إلى الجلوبيولينات لأن الألبيومينات لا تترسب من محاليلها فى وسط مشبع بالأملاح المتعادلة.

٢ ـ ترشيح محتويات الأنبوبتين لفصل الجلوبيولينات. وخذ جزء من الراشح وأضف إليه محلول حامض الخليك حتى يصبح الوسط حامضياً. فيلاحظ عندها ظهور راسب يفسر على أنه من الألبيومينات.

جـ ـ الترسيب بواسطة المذيبات العضوية

تقوم بعض المذيبات العضوية بسحب الماء الذى يغلف جزيئات البروتين على شكل غشاء، مما يؤدى إلى تقليل ثبات البروتين فى المحلول وإلى سقوطها منه على هيئة راسب. وينبغى لترسيب البروتين بواسطة المذيبات العضوية أن تكون فى وسط ضعيف الحامضية أو متعادل.

ويلزم لإجراء هذا التفاعل وجود المواد الآتية:

- محلول بروتين البيض (بدون إضافة كلوريد الصوديوم).
- كحول إيثيلي أو أسيتون.
- مسحوق كلوريد الصوديوم.

الطريقة:

١ - ضع ٢ مل من محلول بروتين البيض في أنبوبة اختبار.

٢ - أضف إليه قليلا من كلوريد الصوديوم ثم رج جيداً حتى يذوب.

٣ - أضف ٥ مل من الكحول الإيثيلي على شكل قطرات ثم رج بقوة ثم اترك الأنبوبة بعد ذلك. فيلاحظ ظهور راسب من البروتين وبعد ٨ دقائق من ظهور هذا الراسب خذ جزء منه إلى أنبوبة أخرى. وأضف إليها بضع ملليترات من الماء المقطر فيتناقص تركيز المحلول. وبالتالي يذوب الراسب البروتيني مرة أخرى.

د- الترسيب بواسطة الأحماض المعدنية

تقوم الأحماض المعدنية المركزة مثل الهيدروكلوريك والنيتريك والكبريتيك بنزع الماء المحيط بجزيئات البروتين ومعادلة ما تحمل من شحنات. فتتكون مركبات معقدة. ويؤدى كل ذلك إلى تغيير طبيعة البروتين، وبالتالي إلى تكون رواسب لا تعود للذوبان في الماء مرة ثانية.

ويلزم لإجراء هذا التفاعل وجود المواد الآتية:

- محلول بروتين نباتي.
- حامض الهيدروكلوريك المركز.
- حامض النيتريك المركز.
- حامض الكبريتيك المركز.

الطريقة:

١ ـ ضع ١ ملى من حامض الهيدروكلوريك المركز فى أنبوبة اختبار و ١ مل من حامض النيتريك المركز فى أنبوبة اختبار ثانية و ١ مل من حامض الكبريتيك المركز فى أنبوبة اختبار ثالثة.
٢ ـ أضف ٢ مل من المحلول البروتينى إلى كل من الأنابيب الثلاثة، على أن يتم ذلك بهدوء بحيث يسيل المحلول البروتينى على جدران الأنابيب الثلاثة.
٣ ـ اترك الأنابيب الثلاثة فترة من الزمن. ولاحظ تكون حلقات بيضاء فى كل منها عند السطح الفاصل بين السائلين.
٤ ـ رج الأنابيب الثلاثة بحذر. ثم أضف إلى كل منها مزيداً من الحامض الذى بها، ولاحظ عودة الراسب البروتينى إلى الذوبان فى كل من أنبوبتى الهيدروكلوريك والكبريتيك وعدم ذوبانه فى أنبوبة النيتريك.

هـ ـ الترسيب بواسطة الأحماض العضوية

فى هذه الطريقة يستخدم حامض ثلاثى كلورو أسيتيك Trichloroacetic Acid (TCA) لترسيب البروتين.

ويلزم لإجراء هذا التفاعل وجود المواد الآتية:
ـ محلول بروتين البيض.
ـ محلول حامض ثلاثى كلورو أسيتيك (TCA) ١٠ ٪

الطريقة :

ـ ضع ٢ مل من محلول بروتين البيض فى أنبوبة اختبار، ثم أضف ٥-١٠ قطرات من محلول حامض ثلاثى كلورو أسيتيك. يلاحظ ظهور راسب أبيض.

و- الترسيب بواسطة أملاح المعادن الثقيلة

تترسب البروتينات من محاليلها بإضافة أملاح النحاس والرصاص والزئبق والخارصين والفضة وغيرها من المعادن الثقيلة. وتستعمل تفاعلات ترسيب البروتينات بواسطة أيونات المعادن الثقيلة فى الاسعافات الأولية عند التسمم بهذه الأملاح، وذلك بإعطاء المصاب كميات كبيرة من بروتينات اللبن والبيض التى تزيح الأيونات المعدنية المسببة للتسمم على هيئة رواسب.

ويلزم لإجراء هذا التفاعل وجود المواد الآتية:

- محلول بروتين البيض.
- محلول كبريتات النحاس ٥٪
- محلول نترات الفضة ٢٪
- محلول خلات الرصاص ٢٪

الطريقة:

١ - ضع ٢ مل من محلول بروتين البيض فى كل من ثلاثة أنابيب اختبار، ثم أضف إليها تدريجياً بضع قطرات من محاليل خلات الرصاص وكبريتات النحاس ونترات الفضة حتى يظهر الراسب.

٢ - بعد ظهور الراسب يضاف إلى كل أنبوبة مزيداً من محلول الملح المستخدم فيه، فيلاحظ ذوبان الراسب فى الأنبوبتين الأولى والثانية وعدم ذوبانه فى الأنبوبة الثالثة.

ز- الترسيب بواسطة الحرارة

تتعرض البروتينات للتخثر عند درجة ٥٠ مئوية فصاعداً، مما يؤدى إلى تغيير طبيعة البروتين Denaturation. إذ أن التسخين يعمل على تحطيم روابط

ثنائي الكبريتيد والروابط الهيدروچينية بين السلاسل البروتينية، وبالتالى يتغير الشكل الفراغي لجزيئات البروتين.

وترتبط سرعة عملية الافساد الحرارى للبروتينات بدرجة الحموضة (pH) السائدة فى المحلول. فعملية تخثر البروتين تتم بسرعة عند نقطة التعادل الكهربائى. أما فى حالة زيادة الحموضة أو القلوية فإن هذا يؤدى إلى إعاقة عملية الترسيب. ففى حالة إضافة حامض تكون جزيئات البروتين ذات شحنات سالبة. لكن إضافة بعض المركبات مثل كلوريد الصوديوم تؤدى إلى الإسراع فى عملية ترسيب البروتينات حتى فى الوسط الحامضى.

ويلزم لإجراء هذا التفاعل وجود المواد الآتية :

- محلول بروتين البيض.
- محلول حامض الخليك ١ ٪
- محلول حامض الخليك ١٠ ٪
- محلول هيدروكسيد الصوديوم ١٠ ٪
- محلول كلوريد الصوديوم المشبع

الطريقة:

١ ـ ضع ٢ مل من محلول بروتين البيض فى كل من خمس أنابيب اختبار:

الأنبوبة الأولى: تسخن حتى الغليان. فيلاحظ تعكر السائل.

الأنبوبة الثانية : يضاف إليها قطرة واحدة من محلول حامض الخليك ١ ٪ ثم تسخن. فيلاحظ ترسب البروتين بسرعة (هنا يكون جزىء البروتين متعادل الشحنة تقريباً أن أنه قريب من نقطة التعادل الكهربائى).

الأنبوبة الثالثة : يضاف إليها ٨ قطرات من محلول حامض الخليك ١٠ ٪

وتسخن حتى الغليان. فيلاحظ عدم تكون راسب (هنا يحمل جزىء البروتين قدراً أكبر من الشحنات الموجبة مما يعيق عملية الترسيب).

الأنبوبة الرابعة: يضاف إليها ٨ قطرات من محلول هيدروكسيد الصوديوم ١٠٪ وتسخن حتى الغليان، فيلاحظ أيضاً عدم تكون راسب (هنا يحمل جزىء البروتين شحنات سالبة).

الأنبوبة الخامسة: يضاف إليها ٥ قطرات من محلول حامض الخليك ١٠٪ و ٥ قطرات من محلول كلوريد الصوديوم المشبع وتسخن فوق اللهب حتى الغليان فيلاحظ تكون راسب.

ثالثاً ـ الليبيدات *Lipids*

١ ـ تحلل المواد الدهنية

من أهم خواص الجليسريدات الثلاثية (الدهون والزيوت والشحوم) ذوبانها فى المذيبات العضوية كالإيثروالأسيتون والكحول الإيثيلى وعدم ذوبانها فى الماء.

ويلزم لإجراء هذا الاختبار وجود المواد الآتية:

- ـ دهن حيوانى.
- ـ زيت نباتى.
- ـ ماء مقطر.
- ـ مذيبات عضوية كالإثير والأسيتون والكحول الإيثيلى.

الطريقة:

١ ـ ضع ثمانى أنابيب اختبار على حامل ذى صفين، فى كل صف أربعة أنابيب. وضع فى كل من أنابيب الصف الأول قطرة زيت، وفى كل من أنابيب الصف الثانى قطعة دهن أو شحم.

٢ ـ ضع فى الأنبوبة الأولى من كل صف ٢ مل ماء مقطر، وفى الأنبوبة الثانية من كل صف ٢ مل من الإيثر، وفى الأنبوبة الثالثة من كل صف ٢ مل من الأسيتون، وفى الأنبوبة الرابعة فى كل صف ٢ مل من الكحول الإيثيلى.

٣ ـ رج الأنابيب كلها جيداً، ولاحظ ذائبية كل مادة.

النتيجة:

تذوب المواد الدهنية فى المذيبات العضوية (كالإيثر والأسيتون والكحول الإيثيلى) ولا تذوب فى الماء.

٢ ـ تفاعل الأكرولين

يستخدم هذا التفاعل للكشف عن وجود الجليسرول فى الجليسريدات الثلاثية. ويتم التفاعل بتسخين الجليسرول مباشرة فوق اللهب مع كبريتات البوتاسيوم الحامضية $KHSO_4$ أو كبريتات الصوديوم الحامضية $NaHSO_4$. فيؤدى هذا إلى نزع جزيئين من الماء من جزىء من الجليسرول، ويتكون مركب يعرف باسم الأكرولين Acrolein الذى يمكن تمييزه من رائحته النفاذة وأبخرته البيضاء.

ويلزم لإجراء هذا التفاعل وجود المواد الآتية:

- جليسرول
- زيت زيتون أو دهن حيوانى
- مسحوق كبريتات الصوديوم أو البوتاسيوم الحامضية

الطريقة:

١ ـ ضع فى أنبوبة اختبار عدة قطرات من الزيت أو الجليسرول أو قطعة دهن. ثم أضف إليها كمية قليلة من مسحوق كبريتات الصوديوم أو البوتاسيوم الحامضية الجافة، وسخن الأنبوبة على النار بلطف وحذر.

النتيجة:

تظهر أبخرة بيضاء نفاذة مما يدل على انطلاق الأكرولين.

رابعاً ـ الإنزيمات *Enzymes*

١ ـ تحلل النشا بواسطة إنزيم الأميليز

يتحلل النشا بواسطة إنزيم الأميليز الموجود فى العصارة اللعابية والعصارة البنكرياسية أيضاً. ويعطى عند تحلله مخلوطاً من ديكسترينات ومالتوز. وتختلف هذه النواتج فى سلوكها تجاه محلول اليود، فالنشا يعطى لوناً أزرقاً لكن الديكسترينات تعطى ألواناً مختلفة بين البنفسجى والأصفر والأحمر. أما المالتوز فإنه يتحلل إلى جزيئين من الجلوكوز بتأثير إنزيم المالتيز. ولمعرفة الخواص الاختزالية للسكاكر يجرى اختبار فهلنج أو بينديكت.

ويلزم لإجراء هذه التفاعلات وجود المواد الآتية:
- محلول اللعاب (يخفف بمقدار عشرة أضعاف حجمه من الماء المقطر).
- محلول النشا ١ ٪.
- محلول اليود فى أيوديد البوتاسيوم (كما سبق فى تجربة اليود والنشا).
- محلول فهلنج أو بنيديكت.

الطريقة:

١ ـ ضع فى كل من أنبوبتى اختبار ١ مل من اللعاب المخفف.

٢ ـ اغل الأنبوبة الأولى مدة ٣ دقائق، ثم أضف لكل من الأنبوبتين ١ مل من محلول النشا المخفف، ثم اتركهما لمدة ١٠ دقائق فى حمام مائى درجة حرارته ٣٧-٣٨ درجة مئوية.

٣ ـ قم بإجراء تفاعل اليود واختبار فهلنج على كل من الأنبوبتين.

النتيجة:

يكون تفاعل اليود إيجابياً فى الأنبوبة الأولى وسلبياً فى الأنبوبة الثانية. أما تفاعل فهلنج فيكون سلبياً فى الأنبوبة الأولى وإيجابياً فى الأنبوبة الثانية.

٢ ـ تأثير تركيز أيون الهيدروجين على فعالية الإنزيم

توجد لكل إنزيم درجة مثلى من تركيز أيون الهيدروجين (pH) فيها يظهر أعلى نشاط له. فالدرجة المثلى من تركيز أيون الهيدروجين لإنزيم الببسين هى ١,٥–٢,٥ ولإنزيم الأميليز اللعابى ٦,٨–٧ وللتربسين البنكرياسى ٧,٨.

ويلزم لإجراء هذا الاختبار وجود المواد الآتية:

- محلول اللعاب المخفف فى الماء المقطر ١ : ١٠٠.
- محلول النشا ٠,٥ ٪.
- محلول حامض السيتريك (١ مول) : ويحضر بإذابة ١٩,٢ جرام من بللورات الحامض النقية فى لتر من الماء المقطر.
- محلول KI/I_2 كذلك الذى استعمل فى تجربة اليود والنشا.
- محلول كلوريد الصوديوم ١ ٪.
- محلول فوسفات الصوديوم الحامضية $Na_2HPO_4.2H_2O$ (0.2 مول): ويحضر بإذابة ٣٦,٦ جرام من الملح المذكور فى لتر من الماء.

الطريقة:

١ ـ ضع فى ٥ أنابيب اختبار الأحجام المذكورة أسفل من محلول فوسفات الصوديوم الحامضية ومحلول حامض السيتريك لكى تحصل على محاليل قيمة تركيز أيون الهيدروجين تقع بين ٥,٦ و٨. ثم يضاف لكل أنبوبة ١٠ قطرات من محلول اللعاب المخفف (١ : ١٠٠). ثم رج محتويات كل أنبوبة جيداً.

رقم أنبوبة الاختبار	حجم محلول حامض السيتريك	حجم محلول فوسفات الصوديوم الحامضية	قيمة pH للمخلوط
1	0.42	0.58	5.6
2	0.31	0.69	6.4
3	0.13	0.87	7.2
4	0.06	0.94	7.6
5	0.03	0.97	8.0

٢ ـ ضع الأنابيب الخمسة لمدة ١٠ دقائق فى حمام مائى درجة حرارته ٣٧ درجة مئوية. ثم اخرج الأنابيب وبردها بسرعة. ثم أضف إلى كل منها قطرة من محلول اليود. ورج المحلول جيداً.

النتيجة:

لاحظ ظهور لون بين الأصفر والأصفر الداكن للتعرف على قيمة تركيز أيون الهيدروجين المناسب للفعل الإنزيمى على النشا.

٣ ـ تعيين فعالية إنزيمى *GPT* و *GOT* فى مصل الدم

من أهم الإنزيمات الموجودة بمصل الدم إنزيمان من الإنزيمات الناقلة للمجموعات الأمينية Transaminases وهما :

- Glutamate Oxaloacetate Transaminase (GOT)

ويعرف أيضاً باسم Aspartate Amino Transferase (AST)

- Glutamate Pyruvate Transaminase (GPT)

ويعرف أيضاً باسم Alanine Amino Transferase (ALT)

وهذان الإنزيمان من الإنزيمات الواسعة الانتشار فى جسم الإنسان. وإذا

أريد تعيين فعاليتهما فى مصل الدم فيجب أن يكون هذا المصل صافياً وطازجاً. أما إذا كان المصل قد حفظ فى درجة الحرارة العادية لمدة ٢٤ ساعة فإن فعالية هذين الإنزيمين فى المصل تنخفض بمقدار ١٢ ٪. ويعتمد تعيين فعالية هذين الإنزيمين على قياس شدة الامتصاص للمركبات الهيدرازونية Hydrazones الناتجة عن تفاعل ٢,٤ ثنائي نيتروفينيل هيدرازين 2.4-Dinitrophenyl Hydrazine مع نواتج تفاعل الإنزيمين.

ويلزم لتعيين فعالية هذين الإنزيمين وجود المواد الآتية:

أ ـ **محلول فوسفات منظم** *Phosphate Buffer Solution*: ويحضر بمزج ٨٤٠ مل من محلول فوسفات الصوديوم الحامضى مع ١٦٠ مل من فوسفات البوتاسيوم ثنائي الهيدروجين. ويحضر محلول فوسفات الصوديوم الحامضى بإذابة ١١,٨٦ جرام من $Na_2HPO_4.2H_2O$ فى لتر من الماء المقطر. كما يحضر فوسفات البوتاسيوم ثنائي الهيدروجين بإذابة ٩,٠٨ جرام من KH_2PO_4 فى لتر من الماء المقطر.

ب ـ محلول المادة الهدف لإنزيم SGOT ويحضر بإذابة ٠,٣٠ جرام من حامض الأسبارتيك و ٥٠ ملجم من حامض α-كيتوجلوتاريك فى حوالى ٢٠ مل من المحلول السابق. ثم يضاف محلول هيدروكسيد الصوديوم ١٠ ٪ تدريجياً حتى تصبح قيمة تركيز أيون الهيدروجين pH تساوى ٧,٥ ثم يكمل الحجم إلى ١٠٠ مل من محلول الفوسفات.

جـ ـ محلول المادة الهدف لإنزيم SGPT. ويحضر كما فى (ب)، لكن يستعمل ٠,٥ جرام من الألانين و ٢٠ ملجم من حامض α- كيتوجلوتاريك. وتحفظ هذه المحاليل فى مكان بارد. لذا يفضل إضافة بضع قطرات من الكلوروفورم لها كمادة حافظة.

د ـ كاشف أنيلين ـ سيترات ويحضر بإذابة ٥٠ جرام من حامض السيتريك فى ٥٠ مل ماء، ثم يضاف إليها ٥٠ مل من الأنيلين.

هـ ـ كاشف ثنائي نيتروفينيل هيدرازين. ويحضر بإذابة ٢٠٠ ملجم من ٢,٤ـ ثنائي نيتروفينيل هيدرازين في ٨٥ مل من حامض الهيدروكلوريك المركز، ثم يكمل ٨٥ مل من حامض الهيدروكلوريك المركز، ثم يكمل الحجم إلى لتر بإضافة الماء المقطر.

و ـ محلول هيدروكسيد الصوديوم: ٠,٤ عيارى.

ز ـ محلول بيروفات الصوديوم العيارى. ويحضر بإذابة ٢٢ ملجم من البيروفات في ١٠٠ مل من محلول الفوسفات (المحضر في الخطوة أ).

الطريقة:

١ ـ خذ ١ مل من كل من المحلولين (ب) ، (جـ) في أنبوبتي اختبار، وضعهما في حمام مائي ذي درجة حرارة ٣٧ مئوية لبضع دقائق.

٢ ـ أضف لكل من الأنبوبتين (ب)، (جـ) ٠,٢ مل من المصل. ورج المخلوط بلطف حتى يذوب تماماً.

٣ ـ خذ في أنبوبة ثالثة ١ مل من المحلول ب. وأضف ٠,٢ مل ماء بدلا من المصل.

٤ ـ أعد الأنابيب الثلاثة إلى الحمام المائي، ثم أضف إلى كل منها قطرتين من كاشف أنيلين سيترات، وذلك بعد ٦٠ دقيقة من التسخين بالنسبة للإنزيم SGOT و ٣٠ دقيقة بالنسبة للإنزيم SGPT.

٥ ـ اخرج الأنابيب من الحمام المائي، ثم اتركها في درجة حرارة الغرفة مدة ٢٠ دقيقة، ثم أضف ١٠ مل من محلول هيدروكسيد الصوديوم حتى تعطى لوناً.

٦ ـ اقرأ شدة الامتصاص باستعمال جهاز مقياس الطيف الضوئي Spectrophotometer على موجة طولها ٥٢٠ ملي ميكرون، وذلك بعد مضى ١٠ دقائق من إضافة القلوى.

لحساب فعالية الإنزيمين الناقلين للمجموعة الأمينية فى مصل الدم تستخدم نتائج الامتصاص وما يلزم من الجدول العيارى التالى، وذلك باستعمال محلول حامض البيروڤيك:

رقم الأنبوبة	محلول حامض البيروڤيك العيارى (مل)	H_2O (مل)	SGOT وحدة/لتر	SGPT وحدة/لتر
القياسى*	-	10	-	-
1	3.5	6.5	-	-
2	4	6	4.1	6.5
3	4.5	5.5	9.6	15.2
4	5.5	4.5	21	28.2
5	6.5	3.5	38	46
6	7.5	2.5	65	62

* الأنبوبة التى يضبط عليها الجهاز ليقرأ صفراً، قبل قراءة بقية الأنابيب

ولكى يتم إعداد الجدول يجرى العمل على الأنابيب المذكورة فى خطوات التجربة، ثم تقاس شدة الامتصاص لكل منها. ويجب التنويه هنا إلى أن الوحدات الدولية (IU) لهذين الانزيمين مقدرة بوحدات كارمن Karmen، وأن كل وحدة من هذه تعادل 0.001 جرام تكون كناتج تفاعل من ١ مل من المصل خلال ساعة واحدة فى درجة ٣٧م.

وتقدر فعالية هذين الإنزيمين فى مصل الدم بـ ٥ ـ ٤٠ وحدة/ لتر بالنسبة لإنزيم SGOT و ٥ – ٣٥ وحدة/لتر بالنسبة لإنزيم SGPT. وتكون فعالية الإنزيم الأول عالية عند حديثى الولادة. وتزداد فعالية هذين الإنزيمين فى مصل الدم فى حالات إصابة الكبد والقلب ببعض الأمراض.

خامساً ـ الدم *Blood*

١ ـ موانع التجلط *Anticoagulants*

يستخدم الهيبارين عادة بكميات صغيرة جداً لمنع تجلط الدم. وأيضاً من الممكن استخدام 0.1 M Sodium Oxalate أو 0.1 M Potassium Oxalate، وذلك بنسبة ١ مل لكل ٩ مل من الدم. ويحضر 0.1 M Sodium Oxalate بإذابة ١,٣٤ جرام من Sodium Oxalate فى ١٠٠ مل ماء مقطر.

وأبسط الطرق لمنع تجلط الدم هو تحريكه بشدة بواسطة قضيب زجاجى، فتلتصق بالقضيب خيوط الفيبرين التى تكونت كنتيجة للجلطة الدموية، ومن ثم تزال هذه الخيوط بسهولة من الدم.

٢ ـ الحصول على الدم

يتم الحصول على عينات الدم غالباً بواسطة محاقن (سرنجات) بلاستيكية بها قسط من الهيبارين أو أية مادة أخرى مانعة للتجلط. وتحفظ عينات الدم فى الثلج حتى يتم إجراء عملية الطرد المركزى Centrifugation لها. وينبغى ألا تتأخر عملية الطرد المركزى عن نصف ساعة من زمن جمع عينات الدم.

ويحصل على الدم من الفئران بقص النهاية الطرفية للذيل أو بثقب القلب. ومن الأرانب والكلاب والقرود يتم الحصول على الدم بثقب وريد الأذن بعد حلق الشعر من الأذن وغسلها بالماء والصابون. أما عند الاحتياج لكميات كبيرة من الدم من هذه الحيوانات فيفضل ثقب القلب. وتتبع طريقة ثقب القلب أيضاً للحصول على الدم من خنزير غينيا والضفدعة. أما الطيور فيحصل على الدم منها بثقب أوردة الأجنحة.

٣ ـ إعداد البلازما

لإعداد البلازما تتبع الخطوات الآتية:

ـ يستقبل الدم فى أنابيب زجاجية بها قدر من الهيبارين أو أية مادة أخرى مانعة للتجلط.

ـ تجرى لها عملية طرد مركزى بسرعة ٢٥٠٠ دورة فى الدقيقة (RPM) لمدة ٥ دقائق.

ـ تنقل البلازما، وهى الجزء الرائق فى الأنابيب التى استقبل بها الدم وأجرى لها طرد مركزى، إلى أنابيب أخرى نظيفة. ولتسهيل نقل البلازما يؤتى بماصة يركب فيها المؤخرة المطاطية لقطارة طبية.

٤ ـ إعداد المصل

لإعداد المصل تتبع الخطوات الآتية:

ـ يستقبل الدم فى أنابيب زجاجية ليس بها مادة مانعة للتجلط.

ـ يترك الدم بها لمدة ١٥ دقيقة فى درجة حرارة الغرفة لكى يتجلط.

ـ يجمع المصل الرائق الذى فوق الجلطة، مباشرة فى أنابيب نظيفة. ومن الممكن أن تكسر الجلطة ميكانيكياً، ثم ترسب بعملية الطرد المركزى (عند ٢٥٠٠ دورة فى الدقيقة لمدة ١٠ دقائق) ويجمع المصل الرائق الذى فوق الجلطة المترسبة.

٥ ـ تعيين تركيز أيون الهيدروجين للدم

يقاس تركيز أيون الهيدروجين للدم pH بواسطة جهاز pHmeter.

٦ ـ تعيين السلوك الأسموزى لخلايا الدم الحمراء

تحاط خلية الدم الحمراء، شأنها شأن باقى خلايا الجسم، بغشاء بلازمى

بالنفاذية Plasma Membrane . ويتحكم هذا الغشاء بما له من خواص تتعلق بالنفاذية في دخول وخروج المواد المختلفة إلى ومن الخلية. فهو شديد النفاذية للماء وقليل النفاذية للجلوكوز ومنعدم النفاذية لكل الأيونات مثل الصوديوم والبوتاسيوم.

ويتغير سلوك خلايا الدم الحمراء في المحاليل المختلفة تبعاً لخروج الماء أو دخوله من وإلى هذه الخلايا. فكلما زاد الماء بالمحلول (أى قل تركيز المذاب) دخل هذا الماء إلى الخلايا فانتفخت. ويزداد انتفاخ الخلايا كلما زاد ماء المحلول وقل تركيز المذاب حتى تصل إلى درجة يزيد فيها الضغط الهيدروستاتيكي على جدرانها. ولما كانت هذه الجدران غير مرنة فإنها تنفجر وتتحلل الخلايا وينطلق محتواها من الهيموجلوبين. ويعرف هذا بالتحلل الدموى Hemolysis، ويحدث عند وضع خلايا الدم الحمراء في محلول مخفف جداً أو في ماء مقطر، ويسمى المحلول الذى يسبب تحلل خلايا الدم الحمراء بالمحلول منخفض التوتر Hypotonic Solution . وإذا وضعت خلايا الدم الحمراء في محلول عالي التركيز فإن الخلايا تفقد قدراً من الماء وتنكمش. ويعرف ذلك بالتسنن Crenation . ويسمى المحلول الذى يحدث هذا التأثير بالمحلول عالي التوتر Hypertonic Solution . وبالطبع فإنه يوجد تركيز معين لكل مادة تظل عنده خلايا الدم الحمراء محافظة على أحجامها من التغير لأن كمية الماء الخارج تساوى كمية الماء الداخل. ويسمى المحلول عند هذا التركيز بالمحلول المتساوى التوتر Isotonic Solution

ولاختبار السلوك الأسموزى لخلايا الدم الحمراء يلزم استخدام محلول مادة تكون أغشية الخلايا غير منفذة لها مثل كلوريد الصوديوم أو الجلوكوز لأن أيونات الصوديوم والكلور وجزيئات الجلوكوز لا يمكنها النفاذ من أغشية الخلايا بسهولة. ويعتمد الضغط الأسموزى لأى محلول على عدد الأيونات أو الجزيئات

المذابة فيها وليس على أحجامها. لذا فإن الضغط الأسموزى لمحلول المادة ذات الوزن الجزيئى العالى كالبروتين مثلا يكون أقل بكثير من الضغط الأسموزى لمحلول مادة ذات وزن جزيئى منخفض بشرط تساوى تركيزى المحلولين.

ويلزم لإجراء هذه التجربة وجود المواد الآتية:

- ماء مقطر.
- محلول ملحى من كلوريد الصوديوم ذو تركيز أقل من ٠,٩ ٪، وليكن ٠,٦ ٪، (محلول منخفض التوتر Hypotonic Solution) .
- محلول ملحى من كلوريد الصوديوم ذو تركيز يساوى ٠,٩ ٪، (محلول متساوى التوتر Isotonic Solution) .
- محلول ملحى من كلوريد الصوديوم ذو تركيز أعلى من ٠,٩ ٪، وليكن ٥ ٪، (محلول عالى التوتر Hypertoinc Solution) .

الطريقة :

١ ـ رقم أربع أنابيب اختبار نظيفة بالأحرف (أ)، (ب)، (جـ)، (د)، وجهزها كما يلى :

- الأنبوبة (أ) : ٤ مل من الماء المقطر.
- الأنبوبة (ب) : ٤ مل من محلول كلوريدالصوديوم ذى التركيز الأقل من ٠,٩ ٪ (أى ٠,٦ ٪) .
- الأنبوبة (جـ) : ٤ مل من محلول كلوريد الصوديوم ذى التركيز ٠,٩ ٪
- الأنبوبة (د) : ٤ مل من محلول كلوريد الصوديوم ذى التركيز الأكبر من ٠,٩ ٪ (أى ٥ ٪) .

٢ ـ أضف قطرة من دم غير متجلط إلى كل من الأنابيب الأربعة المذكورة.

٣ ـ خذ قطرة من كل أنبوبة بواسطة ماصة نظيفة وضعها على شريحة زجاجية نظيفة، وافردها بواسطة غطاء الشريحة الزجاجى. ثم افحصها تحت الميكروسكوب.

النتيجة:

- فى الأنبوبة (أ) تتحلل كل خلايا الدم الحمراء وينطلق جميع الهيموجلوبين الذى بها ويتلون الماء باللون الأحمر.
- فى الأنبوبة (ب) تكبر أحجام خلايا الدم الحمراء. وتصبح أشكالها كروية لأن ماء المحلول قد دخل إلى الخلايا أنفسها. وكلما قل التركيز عن ٠,٦ ٪ من كلوريد الصوديوم (مثلا ٠,٤ ٪ من كلوريد الصوديوم) فإن الماء يدخل إلى الخلايا أكثر وأكثر فتكبر أحجام الخلايا أكثر وأكثر وتتحلل نظراً للضغط الهيدروستاتيكى للسائل ولعدم مرونة جدرانها. ونتيجة لهذا التحلل ينطلق جميع الهيموجلوبين الذى بها.
- فى الأنبوبة (جـ) تبقى أحجام خلايا الدم الحمراء ثابتة دون تغير.
- فى الأنبوبة (د) يزيد الضغط الأسموزى للمحلول ويخرج الماء من خلايا الدم الحمراء فتصغر أحجامها وتنكمش.

٧ ـ تعيين فصائل الدم وعامل الريسس *Rh*

تعين فصائل الدم باستخدام الجسمين المضادين a و b. كما يعين عامل الريسس باستخدام الجسم المضاد له Anti-Rh.

الطريقة:

- قسم شريحة زجاجية نظيفة إلى ثلاثة أجزاء.
- ضع قطرة من الجسم المضاد a على جزء من الشريحة، وقطرة من الجسم المضاد b على الجزء الثانى منها، وقطرة من الجسم المضاد لعامل الريسس Anti-Rh على الجزء الثالث منها.
- أضف قطرة من دم الشخص الذى يراد تعيين فصيلة دمه إلى الأجسام المضادة الثلاثة واخلطها جيداً. وراقب حدوث الإلصاق فى الدم على الأجزاء الثلاثة من الشريحة.

النتيجة:

- إذا حدث إلصاق فى الحالات الثلاث أى مع الجسم المضاد a ومع الجسم المضاد b ومع الجسم المضاد لعامل الريسس Anti-Rh فيدل هذا على أن الدم المراد اختباره يحوى مولد الإلصاق A ومولد الإلصاق B وكذلك معامل الريسس Rh. وبناءً على ذلك تكون فصيلة الدم المختبرة هى AB^+.

- إذا لم يحدث الصاق فى الحالات الثلاث يدل هذا على غياب جميع مولدات الإلصاق. وبناءً على ذلك تكون فصيلة الدم المختبرة هى O^-.

- وهكذا يمكن استنتاج الفصائل الأخرى مثل A^+, A^-, B^+, B^-, AB^-, O^+

٨ـ المعايير الهيماتولوجية *Hematological Parameters*

للدم عدة معايير هامة تعد قيمها دلالات هامة ومؤشرات أساسية لسلامة الكائن الحى. وتتمثل هذه المعايير فى العدد الكلى لكل من خلايا الدم الحمراء وخلايا الدم البيضاء والعدد النوعى لخلايا الدم البيضاء وكمية الهيموجلوبين وقيمة الهيماتوكريت ومؤشرات خلايا الدم الحمراء ومعدل ترسيب خلايا الدم الحمراء وزمن التجلط. وفى كل تلك القياسات يستخدم دم غير متجلط.

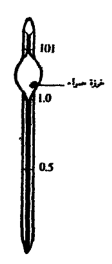
أ ـ عد خلايا الدم الحمراء *Red Blood Cell or Erythrocyte Counts*

لعد خلايا الدم الحمراء تستخدم ماصة خاصة وشريحة زجاجية مدرجة تسمى هيموسيتوميتر Hemocytometer.

وصف الماصة:

الماصة (شكل ٥٥) مدرجة بعلامتين، سفلية 0.5 وعلوية 101. ويمثل

الرقمان حجم الفراغ داخل الماصة بالمليمترات المكعبة. وقبيل العلامة العلوية يوجد انتفاخ فى الماصة به خرزة ذات لون أحمر تستخدم لتقليب الدم.



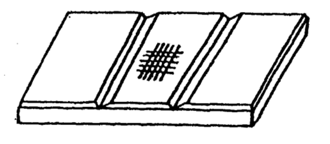
شكل (٥٥)

الماصة المستخدمة لعد خلايا الدم الحمراء

وصف الهيموسيتوميتر

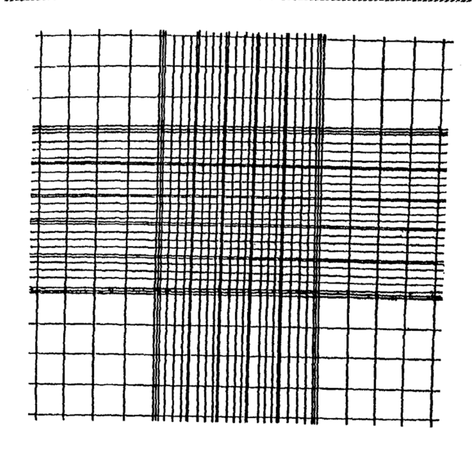
الهيموسيتوميتر (شكل٥٦) عبارة عن شريحة زجاجية سميكة يوجد على مسرحها الوسطى ٢٥ مربع. كل مربع منها مقسم إلى ١٦ مربع أصغر (شكل٥٧). طول ضلع المربع الصغير يساوى $\frac{١}{٢٠}$ م. وهو محفور بعمق $\frac{١}{١٠}$م.

لذا يكون حجمه $\frac{١}{٢٠} \times \frac{١}{٢٠} \times \frac{١}{١٠} \times = \frac{١}{٤٠٠٠}$ م^{٣}.



شكل (٥٦)

شريحة الهيموسيتوميتر



شكل (٥٧)

مربعات الهيموسيتوميتر مكبرة

الطريقة:

١ ـ يحضر محلول متساوى التوتر Isotonic Solution لتخفيف الدم، وهو عبارة عن كلوريد صوديوم مذاب فى ماء مقطر.

٢ ـ اسحب بواسطة الماصة دم غير متجلط حتى علامة 0.5. ثم اكمل بالمحلول المتساوى التوتر حتى علامة 101 . ثم اغلق نهايتى الماصة بواسطة الابهام والسبابة ورج الماصة. ثم افركها بين راحتى اليدين لمزج الدم بالمحلول المتساوى التوتر.

٣ ـ تخلص من بضع قطرات من الدم المخفف عبر الفتحة السفلية للماصة.

بعد ذلك ضع قطرة من الدم المخفف عند حافة الغطاء الزجاجى الموضوع على الشريحة. لاحظ أن قطرة الدم ستنتشر بالخاصة الشعرية ما بين الغطاء الزجاجى والشريحة. اترك الشريحة دقيقة لكى تترسب خلايا الدم الحمراء ثم ضعها تحت المجهر لكى تفحص.

٤ ـ ابدأ الفحص بالقوة الصغرى لمعرفة توزيع خلايا الدم الحمراء، لأنه ينبغى أن يكون التوزيع متجانساً وبلا تجمع، فإن وجد هذا التجمع نظف الشريحة وضع قطرة جديدة. وإذا تكرر وجود التجمع فإن ذلك يعنى أن الدم لم يسحب بالطريقة الصحيحة ولم يخفف كما ينبغى. وفى هذه الحالة يجب إعادة التخفيف. ولعد خلايا الدم الحمراء استخدم العدسة الكبرى. ويتم العد فى ٥ مربعات كبيرة تقع على أحد قطرى المربع. لاحظ أن كل من هذه المربعات الكبيرة يحتوى على ١٦ مربع صغير، أى يجرى العد فى ٨٠ مربع صغير. ومن ذلك احسب عدد خلايا الدم الحمراء فى كل ١ مم٣ من الدم.

ولتيسير عد خلايا الدم الحمراء ارسم المربعات الخمسة الكبيرة (بكل منها ١٦ مربع صغير) على ورقة لكى تدون عدد الخلايا فى كل منها. لاحظ أنه يجب ألا تزيد الفروق بين أعداد خلايا الدم الحمراء فى المربعات الخمسة الكبيرة عن ١٠ ٪ زيادة أو نقصاناً وإلا كان توزيع الخلايا غير متجانس.

الحسابات:

ـ عدد خلايا الدم الحمراء فى ٨٠ مربع صغير يفترض أنه س.

ـ حجم المربع الصغير = $\frac{١}{٢٠} \times \frac{١}{٢٠} \times \frac{١}{١٠} = \frac{١}{٤٠٠٠}$ مم^{٣}

ـ التخفيف ١ : ٢٠٠

∴ عدد خلايا الدم الحمراء/مم^{٣} من الدم = $\frac{س}{٨٠} \times ٤٠٠٠ \times ٢٠٠$ خلية دم حمراء/مم٣ من الدم.

أو بطريقة أبسط:

س (عدد خلايا الدم الحمراء فى ٨٠ مربع صغير) ⟵ ٨٠ × $\frac{١}{٤٠٠٠}$ م٣

ص (عدد خلايا الدم الحمراء فى ١ م٣) ⟵ ١ م٣

ص = س × ١ ÷ ٨٠ × $\frac{١}{٤٠٠٠}$

= س × $\frac{٤٠٠٠}{٨٠}$

ولما كان التخفيف ٢٠٠ مرة لذا فإن:

ص = $\frac{\text{س × ٤٠٠٠ × ٢٠٠}}{٨٠}$ خلية دم حمراء/م٣ من الدم

عد خلايا الدم البيضاء *White Blood Cell or Leucocyte Count*

لعد خلايا الدم البيضاء تستخدم نفس الشريحة الزجاجية المسماة بالهيموسيتوميتر التى استخدمت لعد خلايا الدم الحمراء. لكن هنا تستخدم ماصة تختلف مقاييسها عن تلك التى استخدمت لعد خلايا الدم الحمراء. إذ أن تدريجها عبارة عن علامتين، سفلية 0.5 وعلوية 11. وقبيل العلامة العلوية يوجد انتفاخ فى الماصة به خرزة ذات لون أبيض تستخدم لمزج الدم بالمحلول المخفف. والمحلول المخفف هنا عبارة عن محلول مركب من جزئين (أ) و (ب)، ويسميان محلولا شاو (أ) و (ب) (Shaw's Solutions A, B).

الطريقة:

١ ـ حضر محلولى شاو (أ)و (ب) (Shaw's Solutions A and B) المستخدمين لتخفيف الدم، كالآتى:

Shaw's Solution A		Shaw's Solution B	
- Neutral Red	(25mg)	- Gention or Crystal Violet	(12mg)
- NaCl	(0.9g)	- Sodium Citrate	(3.2g)
- Distilled H_2O	(100 ml)	Formeldhyde	(0.4ml)
		- Distilled H_2O	(100ml)

ثم خذ ١ مل من محلول شاو (أ)، و١ مل من محلول شاو (ب) واخلطهما معاً فى زجاجة ساعة.

٢ ـ اسحب بواسطة الماصة دم غير متجلط حتى علامة 0.5، ثم اكمل بمخلوط محلولى شاو (أ)، (ب) حتى علامة 11. ثم افرك الماصة عند الانتفاخ بين راحتى اليدين لمزج الدم بمخلوط محلولى شاو.

٣ ـ اتبع نفس الخطوة السابقة رقم (٣) التى أجريت عند عد خلايا الدم الحمراء.

٤ ـ اتبع نفس الخطوة السابقة رقم (٤) التى أجريت عند عد خلايا الدم الحمراء، إلا أن العد هنا ينبغى أن يكون بواسطة العدسة الصغرى فقط.

الحسابات :

ـ عدد خلايا الدم البيضاء فى ٨٠ مربع صغير يفترض أنه س

ـ حجم المربع الصغير = $\frac{١}{٢٠} \times \frac{١}{٢٠} \times \frac{١}{١٠} = \frac{١}{٤٠٠٠}$ م٣

ـ التخفيف ١ : ٢٠

∴ عدد خلايا الدم البيضاء/م٣ من الدم = $\frac{س}{٨٠} \times ٤٠٠٠ \times ٢٠$ خلية دم بيضاء/م٣ من الدم

جـ ـ العد النوعى لخلايا الدم البيضاء *Differential Count*

فى هذه الطريقة يتم تقدير النسبة المئوية لأنواع خلايا الدم البيضاء وهى: الخلايا الليمفية Lymphocytes ووحيدة النواة Monocytes والمتعادلة Neutrophils والمحبة للحامض Eosinophils والمحبة للقاعدة Basophils. وتعد لذلك مسحات من الدم على شرائح زجاجية تصبغ بصبغة خاصة تظهر خلايا الدم البيضاء بوضوح، وتسمى هذه الصبغة صبغة جيمسا Giemsa's Stain. ويشترط فيها أن تكون طازجة التحضير حين استعمالها.

الطريقة:

١ ـ حضر محلول منظم Buffer Solution بإذابة ٠,٠١ جرام من ملح منظم Buffer Salt في ١٠ مل ماء مقطر. ثم توضع فى وعاء من أوعية صبغ الشرائح Staining Jar ويفضل مضاعفة هذه الكميات.

٢ ـ حضر صبغة جيمسا كالآتي:

يضاف ٩ مل من المحلول المنظم المحضر فى الخطوة السابقة إلى ١ مل من صبغة چيمسا. وتوضع فى أحد أوعية صبغ الشرائح.

٣ ـ ضع قطرة من دم غير متجلط على شريحة نظيفة تماماً، ثم افردها بواسطة شريحة أخرى نظيفة، ثم اتركها لتجف فى الهواء. وكرر ذلك بتحضير عدة شرائح أخرى.

٤ ـ ثبت Fix الشرائح بوضعها فى كحول الميثانول لمدة دقيقتين. ثم اخرجها واتركها لتجف مرة أخرى.

٥ ـ ضع الشرائح فى صبغة چيمسا لمدة تتراوح من ١ ـ٥ دقائق وحدد المدة الملائمة لعمل الصبغة بالتجريب بواسطة الميكروسكوب.

٦ ـ اغسل الشرائح عدة مرات بواسطة المحلول المنظم ثم اتركها لتجف. وبذا تكون الشرائح جاهزة للفحص والعد.

٧ ـ صمم جدول بأنواع خلايا الدم البيضاء وأعدادها فى عشر مرات مختلفة. ثم احسب المتوسط لأعداد كل نوع منها.

	White Blood Cell Counts أعداد خلايا الدم البيضاء				
	Lymphocyteds الخلايا اللمفية	Monocytes الخلايا وحيدة النواة	Neutrophils الخلايا المتعادلة	Eosinophils الخلايا المحبة للحامض	Basophils الخلايا المحبة للقاعدة
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

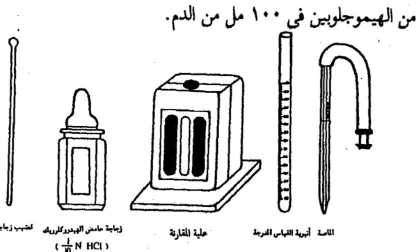
$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{١٠}$ $\bar{x} = \frac{\Sigma x}{١٠}$ $\bar{x} = \frac{\Sigma x}{١٠}$ $\bar{x} = \frac{\Sigma x}{١٠}$ $\bar{x} = \frac{\Sigma x}{١٠}$

٨ ـ افحص الشرائح المجهزة للعد بواسطة الميكروسكوب تحت العدسة ذات القوة الكبرى. ويستحسن أن يختار من كل شريحة جهزت أفضل جزء فيها، حيث تظهر بها خلايا الدم البيضاء واضحة جيداً. وعلم المجال الميكروسكوبى Field بخليتى دم بيضاوين، إحداهما على اليمين والأخرى على اليسار. ثم ابدأ العد لكل نوع من خلايا الدم البيضاء، ودونه فى الجدول المصمم فى الخطوة السابقة. ثم اضبط مجالا ميكروسكوبياً ثانياً بتحريك الشريحة يميناً أو يساراً بحيث يكون حد المجال الميكروسكوبى الثانى هو إحدى الخليتين السابقتين اللتين عُلِّمَ بهما المجال الميكروسكوبى السابق، ثم ابدأ العد. وكرر ذلك حتى عشر مجالات ميكروسكوبية ودون أعدادها كلها فى الجدول المذكور. ثم احسب متوسط أعداد الخلايا البيضاء لكل نوع منها بقسمة مجموع الخلايا البيضاء فى كل نوع على ١٠ (عدد مرات الفحص). وينبغى ألا تكرر عد الخلايا البيضاء التى تكون حداً فى مجالين ميكروسكوبيين. ثم احسب النسبة المئوية لعدد كل نوع من خلايا الدم البيضاء بالنسبة للمجموع الكلى لها.

د ـ تعيين كمية الهيموجلوبين *Hemoglobin Content*

تعتبر كمية الهيموجلوبين إلى حد ما دلالة على عدد خلايا الدم الحمراء. ولتعيين كمية الهيموجلوبين توجد عدة طرق أبسطها وأسرعها طريقة سهلى Sahli Method التى تعتمد على تفاعل الهيموجلوبين مع حامض الهيدروكلوريك المخفف ليتكون مركب ذو لون بنى يسمى الهيماتين الحامضى Acid Hematin.

ويسمى جهاز سهلى بمقياس الهيموجلوبين Hemoglobinometer. ويطلق عليه اختصاراً هيمومتر Hemometer. وهو يتركب كما فى شكل (٥٨) من زجاجة صغيرة تحتوى على ٠,١ عيارى (0.1 N) من حامض الهيدروكلوريك مزودة برأس ذات قطارة وقضيب زجاجى رفيع وماصة سعتها ٢٠ مل وعلبة زجاجية ملونة قياسية Color Standard وأنبوبة مدرجة عليه نوعان من التقسيمات. أحدهما يبدأ من صفر إلى ١٤٠، ويعبر عن كمية الهيموجلوبين كنسبة مئوية من الكمية الطبيعية. وهذا هو الذى يستعمل غالباً. أما التقسيم الثانى فيعبر عن الكمية المطلقة للهيموجلوبين بالنسبة المئوية أي عدد الجرامات من الهيموجلوبين فى ١٠٠ مل من الدم.



شكل (٥٨)

جهاز سهلى لتعيين كمية الهيموجلوبين (Hemoglobinometer or Hemometer)

الطريقة:

١ ـ ضع كمية من حامض الهيدروكلوريك فى الأنبوبة المدرجة حتى العلامة ٣٠.

٢ ـ عقم اصبعك بواسطة قطعة من القطن مشبعة بالكحول، وكذلك عقم إبرة على لهب ثم دعها تبرد. ثم بالإبرة أوخز اصبعك وخزة قوية وسريعة بحيث تخرج قطرة دم كبيرة الحجم. واسحب بالماصة قطرة الدم حتى العلامة ٢٠، ثم انقل الدم على الفور إلى الأنبوبة المدرجة المحتوية على حامض الهيدروكلوريك حتى العلامة ٣٠. ثم اسحب كمية من حامض الهيدروكلوريك إلى داخل الماصة لغسلها وكرر ذلك عدة مرات.

٣ ـ أضف حامض الهيدروكلوريك على شكل قطرات مع المزج بواسطة القضيب الزجاجى حتى يتكون لون بنى ثابت نتيجة لتحول الهيموجلوبين إلى الهيماتين الحامضى. واستمر فى إضافة حامض الهيدروكلوريك مع مقارنة لون الهيماتين الحامضى باللون القياسى فى علبة المقارنة، وإلى أن يتساوى اللونان. ويجب عمل هذه المقارنة فى ضوء النافذة ليسهل تحديد شدة اللون.

٤ ـ اترك المخلوط لمدة دقيقة بعد إضافة آخر قطرة تعادل عندها اللونان. بعدئذ أضف قطرة أخرى من حامض الهيدروكلوريك فتلاحظ أن لون المحلول صار أفتح قليلا من اللون القياسى فى علبة المقارنة. عندئذ خذ متوسط القراءتين كنتيجة نهائية.

هـ ـ تعيين قيمة الهيماتوكريت

Hematocrit Value (Ht) or Packed Cell Volume (PCV)

تعبر قيمة الهيماتوكريت عن النسبة بين حجم خلايا الدم الحمراء وحجم البلازما. وتقدر غالباً كنسبة مئوية، أى تضرب النسبة بين حجم خلايا الدم الحمراء وحجم البلازما × ١٠٠. وتبلغ قيمة الهيماتوكريت فى الرجل السليم ٤٥٪ وفى المرأة السليمة ٤٠٪.

وقيمة الهيماتوكريت هى دلالة هامة على صحة الشخص وسلامته. إذ أن تلك القيمة دلالة على غنى الدم بالهيموجلوبين. فانخفاض قيمة الهيماتوكريت تعنى نقص عدد خلايا الدم الحمراء ومن ثم حدوث الأنيميا. ويعنى انخفاض قيمة الهيماتوكريت أيضاً زيادة ماء الجسم Over-Hydration. وبالعكس فزيادة قيمة الهيماتوكريت تعنى حدوث الجفاف أو فقدان السوائل الجسمية Dehydration. وتزيد قيمة الهيماتوكريت فى حالات سرطان الدم الأحمر Polycythemia حيث يزيد عدد خلايا الدم الحمراء زيادة كبيرة وكذلك يزيد أيضاً فى حالة الجفاف Dehydration. وتدل قيمة الهيماتوكريت مثلها مثل كمية الهيموجلوبين على عدد خلايا الدم الحمراء، إلا أن قيمة الهيماتوكريت تعد هى الأكثر دقة.

الطريقة:

١ ـ خذ عدداً من أنابيب الهيماتوكريت، وهى أنابيب شعرية مفتوحة الطرفين ومصممة لتعيين قيمة الهيماتوكريت. وضع بها قليلا من مانع التجلط إذا لم يكن الدم ممنوعاً من التجلط سابقاً. ثم ضع الدم بكل أنبوبة من أحد طرفيها، وبواسطة لهب اقفل طرفها الآخر الخالى من الدم. لكن احذر من تجفيف الدم بزيادة الحرارة.

٢ ـ انتظر فترة من الوقت حتى تترسب خلايا الدم الحمراء إلى الجزء الأسفل من كل أنبوبة وتصعد البلازما إلى أعلى. ومن الأسهل الحصول على هذه النتيجة باستعمال جهاز الطرد المركزى بسرعة ٢٥٠٠ دورة فى الدقيقة لمدة ٢٠ دقيقة.لاحظ بعد توقف الجهاز أن خلايا الدم الحمراء تكون طبقة سميكة فى النصف الأسفل من الأنبوبة بينما تكون البلازما طبقة سميكة أخرى ذات لون قشى فوق خلايا الدم الحمراء. وبين الطبقتين توجد طبقة رقيقة رمادية اللون Buffy Layer تتكون من خلايا الدم البيضاء والصفيحات الدموية.

٣ ـ ضع كل أنبوبة أفقياً على مقياس الهيماتوكريت الموجود فوق غطاء جهاز الطرد المركزى بشرط أن تكون بين الحدين صفر و ١٠٠ . ثم اقرأ نسبة خلايا الدم الحمراء إلى عمود الدم الكلى مباشرة بفضل التقسيمات المائة الموجودة على غطاء جهاز الطرد المركزى.

و ـ تعيين معدل ترسيب خلايا الدم الحمراء

Erythrocyte Sedimentation Rate (ESR)

يعبر معدل ترسييب خلايا الدم الحمراء عن سمك طبقة البلازما الرائقة (بالملليمترات) فوق خلايا الدم الحمراء المترسبة عند نهاية ساعة وعند نهاية ساعتين. لذا يعبر عنه بوحدة ملليمتر/ساعة وملليمتر/ ساعتين. ويعنى هذا أنه كلما قل عدد خلايا الدم الحمراء زاد معدل الترسيب. ويعتمد معدل ترسيب خلايا الدم الحمراء على تركيز بعض البروتينات فى البلازما، خاصة الفيبرينوجين والفا وجاما جلوبيولين. ونظراً لأن تراكيز هذه البروتينات تزيد عند وجود التهابات لذا فإن معدل ترسيب خلايا الدم الحمراء يزيد فى مثل هذه الحالات. وعلى الرغم من أن معدل ترسيب خلايا الدم الحمراء يعتبر دلالة نافعة على وجود الحالات المرضية إلا أنه لا يميز بين تلك الحالات. إذ أنه يزيد عموماً عند حدوث الالتهابات والعدوى والسرطان أيضاً.

الطريقة:

تستخدم طريقة ويسترجرين Westergren Method لتقدير معدل ترسيب خلايا الدم الحمراء. وفيها تستعمل أنبوبة زجاجية ماصة رفيعة مدرجة ومثبتة رأسياً فى حامل خشبى وتسمى أنبوبة ويسترجرين Westergren Tube.

املأ الأنبوبة بدم غير متجلط، وثبتها فى وضعها الرأسى. ثم قس سمك طبقة البلازما (بالملليمترات) فى نهاية ساعة ثم فى نهاية ساعتين.

ز ـ حساب مؤشرات خلايا الدم الحمراء *Red Blood Cell Indices*

مؤشرات خلايا الدم الحمراء ثلاث هى :

- Mean Corpuscular Volume (MCV) — متوسط حجم خلية الدم الحمراء
- Mean Corpuscular Hemoglobin (MCH) — متوسط هيموجلوبين خلية الدم الحمراء
- Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration (MCHC) — التركيز المتوسط لهيموجلوبين خلية الدم الحمراء

$$\text{MCV} (\mu m^3) = \frac{\text{Ht}(\%)}{\text{RBC Count (Cells mm}^{-3})} \times 10$$

$$\text{MCH (pg)} = \frac{\text{Hb (g 100 mL}^{-1})}{\text{RBC Count (Cells mm}^{-3})} \times 100$$

$$\text{MCHC (\% or dl)} = \frac{\text{Hb (g 100 mL}^{-1})}{\text{Ht}(\%)} \times 100$$

ح ـ تعيين زمن التجلط *Coagulation or Clotting Time*

زمن التجلط هو الزمن اللازم لتخثر الدم منذ لحظة سحبه من الجسم ويعبر عنه بوحدة الثانية. ويمكن تعيينه بسهولة بواسطة طريقة الأنابيب الشعرية Capillary Tube Method.

الطريقة:

١ ـ عقم اصبعك بقطعة قطن مشبعة بالكحول، وكذلك عقم إبرة على لهب ثم دعها تبرد. ثم أوخز اصبعك بحيث تحصل على قطرة دم كبيرة. اسحب قطرة الدم فى أنبوبة زجاجية شعرية. اضبط وقت السحب بواسطة ساعة إيقاف أو بواسطة عقرب الثوانى فى الساعة.

٢ ـ بعد مرور ٣٠ ثانية اكسر قطعة صغيرة من الأنبوبة الشعرية. لن تلاحظ

تكون خيط دموى بين نهايتى القطع. ويدل هذا على عدم حدوث التجلط بعد.

٣ ـ بعد مرور ٣٠ ثانية تالية اكسر قطعة أخرى، واستمر فى كسر قطع متوالية من الأنبوبة الشعرية حتى تلاحظ تكون خيط دموى مطاطى وهو عبارة عن الدم المتجلط.

سادساً ـ البول *Urine*

١ ـ الكشف عن المكونات الطبيعية للبول

أـ الكلور *Chlorine*

يوجد الكلور فى البول بصورة أساسية على هيئة كلوريد الصوديوم. وتزداد كميته عند تناول الأغذية الغنية بالملح. ويتم الكشف عنه باستخدام تفاعل أيونات الكلوريد مع نيترات الفضة ليكون راسباً أبيض هو كلوريد الفضة الذى يصبح لونه غامقاً بفعل الضوء بعد فترة من الزمن.

وللكشف عن الكلور فى البول يلزم وجود المواد الآتية:

ـ بول حديث.

ـ محلول نيترات الفضة ١ ٪.

ـ محلول حامض النيتريك ١٠ ٪.

الطريقة :

ـ خذ ٢ مل من البول فى أنبوبة اختبار وأضف إليها $\frac{١}{٢}$ مل من محلول نيترات الفضة و ٥ قطرات من حامض النيتريك ١٠ ٪.

النتيجة :

يتكون راسب أبيض، يذوب إذا أضيف إليه ٢ مل من الأمونيا.

ب ـ الكبريتات *Sulphate*

مصدر أيونات الكبريتات فى البول هو الأحماض الأمينية الكبريتية التى تتأكسد فى الجسم لتكون هذه الأيونات فى النهاية. وتعتمد كمية الكبريتات فى البول على تفكك البروتينات النسيجية وتناول اللحوم. ويتم الكشف عن هذه الأيونات بتفاعلها مع كلوريد الباريوم معطية راسب أبيض من كبريتات الباريوم، لا يذوب فى الأحماض ولا القلويات.

وللكشف عن الكبريتات فى البول يلزم وجود المواد الآتية:

ـ بول حديث.

ـ محلول كلوريد الباريوم ٥٪.

الطريقة :

ضع ٢ مل من البول فى أنبوبة اختبار، ثم أضف إليها ½ مل من محلول كلوريدالباريوم.

النتيجة:

يتكون راسب أبيض هو كبريتات الباريوم.

جـ ـ الفوسفات *Phosphate*

مصدر الفوسفات فى البول قد يكون الغذاء أو تفكك المركبات العضوية المحتوية على فوسفور مثل الليبيدات الفوسفورية والبروتينات الفوسفورية والبروتينات النووية. كما أن أنسجة الجسم تحتوى على أنزيم الفوسفاتيز الذى يعمل على نزع الفوسفات من المركبات العضوية. وتزداد كمية الفوسفات فى حالة الإجهاد العضلى. ويتم الكشف عن الفوسفات باستخدام موليبدات الأمونيوم فى وسط حامضى، حيث يتفاعل حامض الفوسفوريك مؤدياً إلى

ظهور راسب أصفر هو فوسفوموليبدات الأمونيوم الذى لا يذوب فى حامض النيتريك بينما يذوب فى هيدروكسيد الأمونيوم.

وللكشف عن الفوسفات فى البول يلزم وجود المواد الآتية:

- بول حديث
- كاشف موليبدات الأمونيوم الذى يحضر بإذابة ٧,٥ جرام من ملح موليبدات الأمونيوم فى ١٠٠ مل ماء، ثم يضاف إليها ١٠٠ مل من حامض النيتريك ٣٢٪.

الطريقة

- ضع ٢ مل من كاشف موليبدات الأمونيوم فى أنبوبة اختبار وسخنها حتى الغليان، ثم أضف بعد ذلك بضع قطرات من البول

النتيجة

يتكون راسب بللورى ذى لون أصفر هو فوسفو موليبدات الأمونيوم.

د ـ البولينا (اليوريا) *Urea*

البولينا هى واحدة من أهم نواتج أيض الأحماض الأمينية. وتختلف كمية البولينا فى البول من يوم إلى آخر أو خلال اليوم حسب نوع الغذاء خاصة البروتينات. وتقل كمية تلك المادة فى البول فى حالة الإصابة بعدد من أمراض الكبد أو الكلى. ويتم الكشف عن وجودها فى البول باستعمال هيبوبروميت الصوديوم Brona فى وسط قلوى، حيث ينبعث غاز النيتروجين ويتكون بروميد الصوديوم وكربونات الصوديوم.

وللكشف عن البولينا فى البول يلزم وجود المواد الآتية:

ـ بول حديث.
ـ محلول هيبوبروميت الصوديوم الذى يحضر بإضافة ٥ مل من ماء البروم إلى ٥٠ مل من محلول هيدروكسيد الصوديوم و ١٠٠ مل من الماء.

الطريقة:

ـ ضع ٥ مل من البول فى أنبوبة اختبار، وأضف إليها ٢ مل من محلول هيبوبروميت الصوديوم.

النتيجة:

ينبعث غاز النيتروجين على شكل فقاعات كثيفة على جدار الأنبوبة.

هـ ـ حامض البوليك (اليوريك) *Uric Acid*

حامض البوليك هو أحد نواتج تفكك القواعد البيورينية الداخلة فى تركيب الأحماض النووية. لذلك فإن زيادة كمية الغذاء الغنية بهذه المركبات يؤدى إلى ارتفاع كمية هذا الحامض فى البول. ويتم الكشف عن حامض اليوريك فى البول بتعامله مع كاشف حامض فوسفوتنجستيك، فيظهر لون أزرق.

وللكشف عن حامض البوليك فى البول يلزم وجود المواد الآتية:

ـ بول حديث.
ـ كاشف حامض فوسفوتنجستيك الذى يحضر بإذابة ١٠٠ جرام من تنجستات الصوديوم النقية فى ١٠٠ مل ماء فى كأس نظيف مع الاستعانة بلهب خفيف، ثم يذاب فى كأس آخر ٢٠ جرام من فوسفات الصوديوم أحادية الهيدروجين الجافة فى حوالى ٥٠ مل ماء. ثم يبرد المحلولان. ويضاف المحلول الثانى ببطء إلى المحلول الأول، ويكمل الحجم إلى ١٠٠٠ مل من الماء. ويحفظ هذا الكاشف فى زجاجة معتمة.

الطريقة:

- ضع ٢ مل من البول فى أنبوبة اختبار. ثم أضف إليها بضع قطرات من كاشف حامض فوسفوتنجستيك.

النتيجة:

يظهر لون أزرق غامق.

و ـ الكرياتينين *Creatinine*

مصدر الكرياتينين فى البول هو العمليات الأيضية لفوسفات الكرياتينين فى العضلات. وكلما زادت عملية تفكك فوسفات الكرياتينين زادت نسبة الكرياتينين فى البول. وبالتالى تزيد كميته عند اجراء التمارين الرياضية وفى حالة أمراض الكلى والعضلات. ويعتمد الكشف عن وجود الكرياتينين فى البول على تفاعله مع حامض البيكريك المشبع فى وسط قلوى مما يؤدى إلى تكون لون برتقالى.

وللكشف عن الكرياتينين فى البول يلزم وجود المواد الآتية:

- بول حديث
- حامض البيكريك المشبع
- محلول هيدروكسيد الصوديوم ١٠٪

الطريقة:

- ضع ٢ مل من البول فى أنبوبة اختبار، وأضف إليها ½مل من حامض البيكريك و½مل من هيدروكسيد الصوديوم. ثم امزج هذه المحاليل بالرج.

النتيجة:

يظهر لون برتقالى.

٢ ـ الكشف عن المكونات المرضية فى البول

أ ـ البروتينات *Proteins*

فى الحالة الطبيعية توجد البروتينات بقدر ضئيل جداً لا يمكن قياسه. لكن فى حالة التهاب الكليتين يظهر الألبيومين فى البول، وفى حالة الأورام الخبيثة فى العظام تظهر بعض البروتينات الأخرى. ويتم الكشف عن وجود البروتين فى البول بنفس الطرق التى ذكرت من قبل فى اختبارات البروتين.

ب ـ الجلوكوز *Glucose*

يظهر الجلوكوز فى البول فى حالة الإصابة بمرض السكر. ويتم الكشف عن وجوده فى البول بنفس الطرق التى ذكرت فى اختبارات الكربوهيدرات.

جـ ـ الأجسام الكيتونية *Ketone Bodies*

تظهر الأجسام الكيتونية فى البول فى حالتى الإصابة بمرض السكر واضطراب أيض الليبيدات. وهذه الأجسام هى الأسيتون وحامض الأسيتواسيتك وحامض بيتا هيدروكسى بيوتيريك. وتسمى حالة ظهور الأجسام الكيتونية فى البول بالتبول الكيتونى Ketonuria .

ـ الأسيتون *Acetone*

يتم الكشف عن الأسيتون فى البول بطريقة روثيرا Rothera التى تعتمد على أن الأسيتون يكون مع ملح نيتروبروسيد الصوديوم فى وسط قلوى نواتج ذات لون أحمر بنفسجى.

وللكشف عن الأسيتون فى البول يلزم وجود المواد الآتية:

ـ بول حديث، مؤكد وجود الأجسام الكيتونية فيه.

ـ كبريتات الأمونيوم الصلبة.
ـ محلول الأمونيا المركز.
ـ محلول نيتروبروسيد الصوديوم ٥ ٪.

الطريقة:

١ ـ ضع ٥ مل من البول فى أنبوبة اختبار، ثم شبعه بكبريتات الأمونيوم الصلبة. ثم أضف قطرتين أو ثلاثة من الأمونيا المركزة و٥ قطرات من محلول نيتروبروسيد الصوديوم المحضر حديثاً.

٢ ـ رج هذه المواد، واتركها بضع دقائق.

النتيجة:

يتكون لون أحمر بنفسجى.

ـ حامض الأسيتوأسيتك

يتم الكشف عن حامض الأسيتو أسيتك فى البول بطريقة جيرهارد Gerhard التى تعتمد على أن كلوريد الحديد يكون مع ملح الصوديوم معقداً ذا لون أحمر من حامض الأسيتو اسيتك.

وللكشف عن حامض الأسيتو أسيتك يلزم وجود المواد الآتية:

ـ بول حديث، مؤكد وجود الأجسام الكيتونية فيه.
ـ محلول كلوريد الحديد $FeCl_3$ ١٠ ٪.

الطريقة :

ـ ضع ٥ مل من البول فى أنبوبة اختبار، ثم أضف إليه محلول كلوريد الحديد بواسطة قطارة.

النتيجة:

يتكون راسب أبيض مصفر. استمر فى إضافة الكاشف حتى يتوقف تكون مزيد من الراسب. فإذا كان البول يحتوى على حامض الأسيتواسيتك يتكون لون أحمر فاتح.

د ـ الدم أو الهيموجلوبين *Blood or Hemoglobin*

عند إصابة المجارى البولية والكليتين ووجود الحصوات يتواجد الدم أو الهيموجلوبين بالبول، وتسمى هذه الحالة بالتبول الدموى Hematuria. وفيها يظهر البول أحمر معتم. ويتم الكشف عن وجود الدم فى البول بالفحص المجهرى بحثاً عن وجود خلايا الدم الحمراء. أما الهيموجلوبين فيتم الكشف عنه بتفاعله مع البنزيدين فى حامض الخليك الثلجى بوجود فوق أكسيد الهيدروجين مكوناً معقداً ذا لون أخضر أو أزرق حسب كمية الدم.

وللكشف عن الهيموجلوبين فى البول يلزم وجود المواد الآتية:
- بول حديث، يحتوى على الدم.
- محلول بنزيدين مشبع فى حامض الخليك الثلجى.
- محلول فوق أكسيد الهيدروجين.

الطريقة:

- ضع ٣ مل من البول فى أنبوبة اختبار. ثم أضف إليها بضع قطرات من محلول فوق أكسيد الهيدروجين. ثم أضف $\frac{1}{٢}$ مل من محلول البنزيدين المشبع فى حامض الخليك. ثم رج المحتويات جيداً.

النتيجة:

يظهر لون أخضر أو أزرق.

هـ ـ أصباغ الصفراء *Bile Pigments*

تنتج أصباغ الصفراء (بيليروبين Bilirubin وبيليڤردين Biliverdin) عن عملية أيض الهيم الناتج عن تكسير جزيئات الهيموجلوبين بعد انقضاء عمر خلايا الدم الحمراء. وفى الحالة الطبيعية تطرد هذه الأصباغ مع البراز بصورة رئيسية، إلا أن جزءاً ضئيلاً منها يطرد مع البول وذلك عند ازدياد كميتها فى الدم. وفى حالة انسداد المجرى الصفراوى الواصل من الكبد إلى الأمعاء، وحالة أمراض الكبد يمتص البيليروبين إلى الدم، ويزيد تركيزه فيه، ويمر جزء منه عبر الكليتين إلى البول.

وللكشف عن أصباغ الصفراء فى البول يلزم وجود المواد الآتية:

- بول حديث.
- حامض النيتريك المركز

الطريقة:

- ضع ٢ مل من حامض النيتريك فى أنبوبة اختبار ثم أضف إليها ٢ مل من البول بحذر مع مراعاة عدم رج الأنبوبة. ثم انتظر بضع دقائق.

النتيجة:

تظهر حلقات ملونة عند السطح الفاصل بين طبقة الحامض وطبقة البول.

و ـ أملاح الصفراء *Bile Salts*

أملاح الصفراء هى إحدى مكونات العصارة الصفراوية Bile التى يفرزها الكبد. وهى عبارة عن نوعين : تاوروكولات الصوديوم Na Taurocholate وجليكوكولات الصوديوم Na Glycocholate. ولأملاح الصفراء عدة وظائف أهمها أنها تحول الدهون التى فى الغذاء إلى مستحلب يسهل هضمه، وذلك من خلال تقليل التوتر السطحى لهذه الدهون. وتساعد كذلك على امتصاصها.

وتعتمد طريقة الكشف عن أملاح الصفراء على خاصية خفض هذه الأملاح للتوتر السطحي للسائل الذى توجد فيه.

ويلزم للكشف عن أملاح الصفراء فى البول وجود المواد الآتية:

- بول حديث.
- مسحوق الكبريت.

الطريقة:

- ضع ٣ مل من البول فى أنبوبة اختبار، ثم أضف قليلا من مسحوق الكبريت، مع مراعاة عدم رج الأنبوبة.

النتيجة:

يلاحظ نزول ذرات الكبريت إلى الأسفل فى حالة وجود أملاح الصفراء. لكنها تبقى على السطح فى حالة عدم وجود هذه الأملاح.

ز ـ الرواسب البولية:

فى الحالة الطبيعية تكون جميع الأملاح المعدنية والعضوية المطرودة فى البول فى حالة ذائبة. لكن فى بعض الحالات لا يذوب جزء من الأملاح المعدنية والأحماض العضوية (مثل حامض البوليك أو اليوريك) فتظهر على هيئة رواسب بولية متبلورة، ولبلوراتها أشكال مختلفة. وفضلا عن الأملاح المذكورة يمكن أن تظهر مع البول فى عدد من الحالات المرضية رواسب خلوية تكون غالبًا مختلطة مع الرواسب الملحية. ومن أهم هذه الرواسب الخلوية خلايا الدم الحمراء والبيضاء. ولكل من هذه وتلك شكل خاص تحت الميكروسكوب المجهر.

ويلزم للكشف عن هذه الرواسب البولية وجود المواد الآتية:

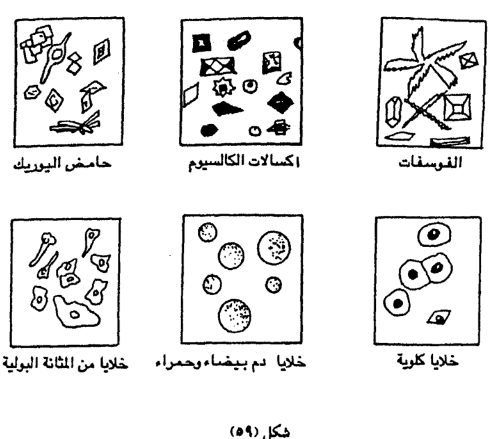
- بول حديث
- مجهر وشرائح زجاجية

الطريقة:

- ضع ١٠ مل من البول فى أنبوبة اختبار. ثم انقل قطرة فيها بعض الرواسب إلى شريحة زجاجية وافحصها تحت المجهر.

النتيجة:

تظهر أشكال مختلفة يمكن تمييز كل منها كما فى الشكل (٥٩).



شكل (٥٩)
الرواسب البولية

المراجـــع

المراجـــع

- Adolph E.F. (1967) : The heart's Pacemaker, Sci. Am. 216 (3): 32-37.

- Barnes C.D. and Kircher C. (1968): Readings in neurophysiology, New York, John Wiley & Sons.

- Bendall J.R. (1969) : Muscles, molecules and movement, New York, American Elsevier Publishing Co.

- Berne R.M. and Levy M.N. (1977): Cardiovascular Physiology, ed.3, St. Louis, C.V. Mosby Co., pp. 75-129.

- Braunwald E. (1974): Regulation of the circulation, N. Engl. J. Med. 290: 1124-1129.

- Carlson F.D. and Wilkie D.R. (1974): Muscle Physiology, Englewood Cliff, N.J. Prentice - Hall, pp. 1-170.

- Chapman C.B. and Mitchell J.H. (1965) : The Physiology of exercise, Sci. Am. 212 (5): 88-96.

- Evans W.F. (1976) : Anatomy and Physiology, 2nd ed. Prentice Hall, Inc., Englewood Cliff, New Jersey.

- Fithch K.L. and Johnson P.B. (1977): Human life Science, Holt, Rinehart and Winston.

- Folkow B. and Neil E. (1971): Circulation, London, Oxford University Press, pp. 1-131.

- Goldsby R.A. (1979) : Biology, 2nd. Ed. Harper and Row Publishers N.Y.

- Granit R. (1970): The basis of motor control, New York, Academic Press.

- Hodgkin A.L. (1964) : The conduction of the nervous impulse, Springfield, III, Charles C. Thomas, Publisher.

- Kantin M. and Kinest G. (1986): Heart as an endocrine gland Sci. Am. (2): 30-37.

- Katz B. (1966) : Nerve, muscle and synapse, New York, McGraw-Hill Books Co., pp. 1-141.

- Merton P.A. (1972) : How we control the contraction of our muscles, Sci. Am. 226 (5) : 30-37.

- Mountcastle V.B. (1974): Medical Physiology, ed. 13, St. Louis, The C.V. Mosby Co., pp. 603-677.

- Patton H.D., Sundsten J.W., Crill W.E. and Swanson P.D. (1976): Introduction to basic newrology, Philadelphia, W.B. Saunders Co., pp. 155-198.

- Routh J.I., Eyman D.P. and Burton D.J. (1976): A brief introduction to General Organic and Biochemistry, Philadelphia, W.B. Saunders Co., pp. 263-399.

- Spence A.P. and Mason E.B. (1979): Human Anatomy and Physiology. The Benjamin Cummings Publishing Comp. Inc., Menlo Park, California.

الفهـــرس

الفصل الثاني
الإنزيمـــــات

الفصل الثالث
المـــــواد الغذائية

الفصل الرابع
الهضـــــم

الفصل الخامس
الامتصـــــاص

الفصل السادس
الأيض والطاقة

الفصل السابع
دوران الدم

الفصل الثامن
التنفـــــس

الفصل التاسع
الاخـــــراج

الفصل العاشر
التوازن الحامضى القاعدى

الفصل الحادى عشر
الجهاز العصـــــبى

الفصل الثانى عشر
التوازن الهرمونى

الفصل الثالث عشر
الحـــــــركة

الفصل الرابع عشر
التكاثـــــــــر

الفصل الخامس عشر
الفسيولوچيا العملية

غلاف
مطبعة الانتصار
ELENTSAR PRESS
١٠ ش الوردى كوم الدكة - ت : ٤٩١٦٥٩٧